

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 6 - 2 8 3 4 0 3

(43) 公開日 平成 6 年 (1994) 10 月 7 日

(51) Int. Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H01L 21/027				
G03B 27/32	F	8102-2K		
G03F 9/00	H	7316-2H		
		7352-4M		
			H01L 21/30	311 N
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 2 1 頁)				

(21) 出願番号 特願平 5 - 6 7 2 7 1

(22) 出願日 平成 5 年 (1993) 3 月 2 6 日

(71) 出願人 0 0 0 0 0 4 1 1 2

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号

(72) 発明者 西 健爾

東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株

式会社ニコン内

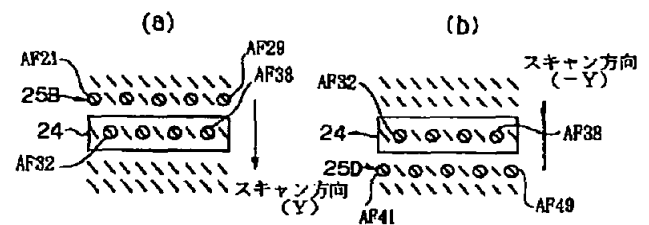
(74) 代理人 弁理士 大森 聡

(54) 【発明の名称】 面位置設定装置

(57) 【要約】

【目的】 スリットスキャン露光方式の投影露光装置において、感光基板の露光面を投影光学系の像面に対して高精度に合わせ込む。

【構成】 スリット状の露光フィールド 24 に対してウエハを Y 方向に走査して露光を行う場合には、走査方向に対して手前の第 2 列 25 B 内のサンプル点 A F 21 ~ A F 29 及び露光フィールド 24 内のサンプル点 A F 32 ~ A F 38 で得られたフォーカス位置の情報からウエハのレベリング及びフォーカシングの制御を行う。また、ウエハを -Y 方向に走査して露光を行う場合には、走査方向に対して手前の第 4 列 25 D 内のサンプル点 A F 41 ~ A F 49 及び露光フィールド 24 内のサンプル点 A F 32 ~ A F 38 で得られたフォーカス位置の情報からウエハのレベリング及びフォーカシングの制御を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 露光光で所定形状の照明領域を照明する照明光学系と、前記照明領域に対して露光用のパターンが形成されたマスクを走査するマスク側ステージと、前記照明領域内の前記マスクのパターンを感光基板上に投影する投影光学系と、前記マスクと同期して前記感光基板を走査する基板側ステージとを有する露光装置に設けられ、前記感光基板の露光面を前記投影光学系の像面に平行に合わせ込むための面位置設定装置であって、前記感光基板が走査される方向に交差する方向の複数の点を含む複数の計測点において前記感光基板の前記投影光学系の光軸に平行な方向の高さをそれぞれ計測する多点計測手段と、

該多点計測手段の計測結果より前記感光基板の露光面と前記投影光学系の像面との間の傾斜角の差分を求める演算手段と、

前記基板側ステージに設けられ、前記演算手段により求められた前記傾斜角の差分に基づいて、前記感光基板の前記走査の方向の傾斜角及び前記走査の方向に直交する方向の傾斜角を設定する傾斜設定ステージとを有し、該傾斜設定ステージが前記感光基板の前記走査の方向の傾斜角を設定するときの応答速度と、前記走査の方向に直交する方向の傾斜角を設定するときの応答速度とを異ならしめたことを特徴とする面位置設定装置。

【請求項 2】 前記多点計測手段は、前記基板側ステージを介して前記感光基板が走査されているときに、前記基板側ステージの位置基準で前記複数の計測点における前記感光基板の高さをサンプリングすることを特徴とする請求項 1 記載の面位置設定装置。

【請求項 3】 前記多点計測手段は、前記所定形状の照明領域と前記投影光学系に関して共役な露光領域内の複数の点及び前記共役な露光領域内に対して前記感光基板が走査される際の手前の領域内の複数の点よりなる複数の計測点において、前記感光基板の高さをそれぞれ計測することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の面位置設定装置。

【請求項 4】 前記多点計測手段は、前記感光基板の 1 つのショット領域へ順次前記マスクのパターンを露光する過程において、順次前記複数の計測点の位置を変化させることを特徴とする請求項 1 記載の面位置設定装置。

【請求項 5】 露光光で所定形状の照明領域を照明する照明光学系と、前記照明領域に対して露光用のパターンが形成されたマスクを走査するマスク側ステージと、前記照明領域内の前記マスクのパターンを感光基板上に投影する投影光学系と、前記マスクと同期して前記感光基板を走査する基板側ステージとを有する露光装置に設けられ、前記感光基板の露光面の高さを前記投影光学系の像面に合わせ込むための面位置設定装置であって、前記所定形状の照明領域と前記投影光学系に関して共役な露光領域及び該露光領域に対して前記感光基板が走査

される際の手前の領域よりなる計測領域内の所定の計測点において、前記感光基板の前記投影光学系の光軸に平行な方向の高さを計測する高さ計測手段と、

前記感光基板を走査した際に前記高さ計測手段により得られる複数の高さ計測結果の内の、最大値及び最小値に基づいて前記感光基板の露光面の平均的な高さと前記投影光学系の像面の高さとの差分を求める演算手段と、前記基板側ステージに設けられ、前記演算手段により求められた前記高さの差分に基づいて、前記感光基板の高さを設定する高さ設定ステージとを有することを特徴とする面位置設定装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業状の利用分野】 本発明は、例えばスリットスキャン露光方式の投影露光装置のオートフォーカス機構又はオートレベリング機構に適用して好適な面位置設定装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 半導体素子、液晶表示素子又は薄膜磁気ヘッド等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に、フォトマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）のパターンを感光材が塗布された基板（ウエハ、ガラスプレート等）上に転写する投影露光装置が使用されている。従来の投影露光装置としては、ウエハの各ショット領域を順次投影光学系の露光フィールド内に移動させて、各ショット領域に順次レチクルのパターン像を露光するというステップ・アンド・リピート方式の縮小投影型露光装置（ステッパー）が多く使用されていた。

【0003】 図 20 は従来のステッパーの要部を示し、この図 20 において、図示省略された照明光学系からの露光光 E L のもとで、レチクル 5 1 上のパターンの像が投影光学系 5 2 を介してフォトレジストが塗布されたウエハ 5 3 上の各ショット領域に投影露光される。ウエハ 5 3 は、Z レベリングステージ 5 4 上に保持され、Z レベリングステージ 5 4 はウエハ側 X Y ステージ 5 5 の上に載置されている。ウエハ側 X Y ステージ 5 5 は、投影光学系 5 2 の光軸 A X 1 に垂直な平面（X Y 平面）内でウエハ 5 3 の位置決めを行い、Z レベリングステージ 5 4 は、ウエハ 5 3 の露光面のフォーカス位置（光軸 A X 1 に平行な方向の位置）及びその露光面の傾斜角を指定された状態に設定する。

【0004】 また、Z レベリングステージ 5 4 上に、移動鏡 5 6 が固定されている。外部のレーザ干渉計 5 7 からのレーザビームがその移動鏡 5 6 で反射され、ウエハ側 X Y ステージ 5 5 の X 座標及び Y 座標がレーザ干渉計 5 7 により常時検出され、これら X 座標及び Y 座標が主制御系 5 8 に供給されている。主制御系 5 8 は、駆動装置 5 9 を介してウエハ側 X Y ステージ 5 5 及び Z レベリングステージ 5 4 の動作を制御することにより、ステップ・アンド・リピート方式でウエハ 5 3 上の各ショット

領域に順次レチクル 5 1 のパターン像を露光する。

【 0 0 0 5 】この際、レチクル 5 1 上のパターン形成面（レチクル面）とウエハ 5 3 の露光面とは投影光学系 5 2 に関して共役になっている必要があるが、投影倍率が高く、焦点深度が大きい為にレチクル面はあまり変動しない。そこで、従来は一般に、斜め入射型の多点のフォーカス位置検出系によってウエハ 5 3 の露光面が投影光学系 5 2 の像面に焦点深度の範囲内で合致しているかどうか（合焦しているかどうか）のみを検出し、ウエハ 5 3 の露光面のフォーカス位置及び傾斜角の制御を行って

いた。

【 0 0 0 6 】従来の多点のフォーカス位置検出系において、露光光 E L とは異なりウエハ 5 3 上のフォトレジストを感光させない照明光が、図示省略された照明光源から光ファイバ束 6 0 を介して導かれている。光ファイバ束 6 0 から射出された照明光は、集光レンズ 6 1 を経てパターン形成板 6 2 を照明する。パターン形成板 6 2 を透過した照明光は、レンズ 6 3、ミラー 6 4 及び照射対物レンズ 6 5 を経てウエハ 5 3 の露光面に投影され、ウエハ 5 3 の露光面にはパターン形成板 6 2 上のパターンの像が光軸 A X 1 に対して斜めに投影結像される。ウエハ 5 3 で反射された照明光は、集光対物レンズ 6 6、回転方向振動板 6 7 及び結像レンズ 6 8 を経て受光器 6 9 に受光面に再投影され、受光器 6 9 の受光面には、パターン形成板 6 2 上のパターンの像が再結像される。この場合、主制御系 5 8 は加振装置 7 0 を介して回転方向振動板 6 7 に後述のような振動を与え、受光器 6 9 の多数の受光素子からの検出信号が信号処理装置 7 1 に供給され、信号処理装置 7 1 は、各検出信号を加振装置 7 0 の駆動信号で同期検波して得た多数のフォーカス信号を主

制御系 5 8 に供給する。

【 0 0 0 7 】図 2 1 ( b ) は、パターン形成板 6 2 上に形成された開口パターンを示し、この図 2 1 ( b ) に示すように、パターン形成板 6 2 上には十字状に 9 個のスリット状の開口パターン 7 2 - 1 ~ 7 2 - 9 が設けられている。それらの開口パターン 7 2 - 1 ~ 7 2 - 9 はウエハ 5 3 の露光面に対して X 軸及び Y 軸に対して 4 5 ° で交差する方向から照射されるため、ウエハ 5 3 の露光面上の投影光学系 5 2 の露光フィールド内での、それら開口パターン 7 2 - 1 ~ 7 2 - 9 の各投影像 A F 1 ~ A F 9 は図 2 1 ( a ) に示すような配置になる。図 2 1 ( a ) において、投影光学系 5 2 の円形の照明視野に内接して最大露光フィールド 7 4 が形成され、最大露光フィールド 7 4 内の中央部及び 2 個の対角線上の計測点 A F 1 ~ A F 9 にそれぞれスリット状の開口パターンの投影像が投影されている。

【 0 0 0 8 】図 2 1 ( c ) は、受光器 6 9 の受光面の様子を示し、この図 2 1 ( c ) に示すように、受光器 6 9 の受光面には十字型に 9 個の受光素子 7 5 - 1 ~ 7 5 - 9 が配置され、各受光素子 7 5 - 1 ~ 7 5 - 9 の上には

スリット状の開口を有する遮光板（図示省略）が配置されている。そして、図 2 1 ( a ) の各計測点 A F 1 ~ A F 9 上の像がそれぞれ受光器 6 9 の各受光素子 7 5 - 1 ~ 7 5 - 9 の上に再結像されている。この場合、図 2 0 のウエハ 5 3 の露光面（ウエハ面）で反射された照明光は、集光対物レンズ 6 6 の瞳位置に存在すると共に図 2 0 の紙面にほぼ垂直な軸の回りに振動（回転振動）する回転方向振動板 6 7 に反射されるため、図 2 1 ( c ) に示すように、受光器 6 9 上では各受光素子 7 5 - 1 ~ 7 5 - 9 上に再結像される投影像の位置がスリット状の開口の幅方向である R D 方向に振動する。

【 0 0 0 9 】また、図 2 1 ( a ) の各計測点 A F 1 ~ A F 9 上のスリット状の開口の像は、投影光学系 5 2 の光軸に対して斜めに投影されているため、ウエハ 5 3 の露光面のフォーカス位置が変化すると、それら投影像の受光器 6 9 上での再結像位置は R D 方向に変化する。従って、信号処理装置 7 1 内で、各受光素子 7 5 - 1 ~ 7 5 - 9 の検出信号をそれぞれ回転方向振動板 6 7 の加振信号で同期検波することで、計測点 A F 1 ~ A F 9 のフォーカス位置にそれぞれ対応する 9 個のフォーカス信号が得られる。そして、9 個のフォーカス位置から、露光フィールド 7 4 の平均的な面の傾斜角及びその平均的な面のフォーカス位置が求められて主制御系 5 8 に供給され、主制御系 5 8 は、駆動装置 5 9 及び 2 レベリングステージ 5 4 を介してウエハ 5 3 の当該ショット領域のフォーカス位置及び傾斜角（レベリング角）を所定の値に設定する。このようにして、ステッパにおいては、ウエハ 5 3 の各ショット領域においてフォーカス位置及び傾斜角が投影光学系 5 2 の像面に合わせ込まれた状態で、それぞれレチクル 5 1 のパターン像が露光されてい

た。

【 0 0 1 0 】

【発明が解決しようとする課題】近年、半導体素子等においてはパターンが微細化しているため、投影光学系の解像力を高めることが求められている。解像力を高めるための手法には、露光光の波長の短波長化、又は投影光学系の開口数の増大等の手法があるが、何れの手法を用いる場合でも、従来例と同じ程度の露光フィールドを確保しようとする、露光フィールドの全面で結像性能（ディストーション、像面湾曲等）を所定の精度に維持することが困難になってきている。そこで現在見直されているのが、所謂スリットスキャン露光方式の投影露光装置である。

【 0 0 1 1 】このスリットスキャン露光方式の投影露光装置では、矩形又は円弧状等の照明領域（以下、「スリット状の照明領域」という）に対してレチクル及びウエハを相対的に同期して走査しながら、そのレチクルのパターンがウエハ上に露光される。従って、前記スリット状の照明領域と共役な領域内で像が平均化され、ディストーション精度が向上するという利点があった。

【0012】また、従来のレチクルの大きさの主流は6インチサイズであり、投影光学系の投影倍率の主流は1/5倍であったが、半導体素子等の回路パターンの大面積化により、倍率1/5倍のもとでのレチクルの大きさは6インチサイズでは間に合わなくなっている。そのため、投影光学系の投影倍率を例えば1/4倍に変更した投影露光装置を設計する必要がある。そして、このような被転写パターンの大面積化に対して投影光学系の露光フィールド径を小さくする事ができるスリットスキャン露光方式がコスト面に於いても有利である。

【0013】斯かるスリットスキャン露光方式の投影露光装置において、従来のステッパーで用いられていた多点型のフォーカス位置検出系をそのまま適用して、ウエハ上の露光面のフォーカス位置及び傾斜角を計測したとしても、ウエハが所定方向に走査されているため、実際の露光面を投影光学系の像面に合わせ込むことが困難であるという不都合があった。即ち、従来はスリットスキャン露光方式の投影露光装置において、ウエハのフォーカス位置及び傾斜角を投影光学系の像面に合わせ込むための手法が確率されていなかった。

【0014】本発明は斯かる点に鑑み、スリットスキャン露光方式の投影露光装置において、感光基板の露光面を投影光学系の像面に対して高精度に合わせ込むために使用できるような面位置設定装置を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の面位置設定装置は、露光光で所定形状の照明領域を照明する照明光学系と、その照明領域に対して露光用のパターンが形成されたマスク(12)を走査するマスク側ステージ

(10)と、その照明領域内のマスク(12)のパターンを感光基板(5)上に投影する投影光学系(8)と、マスク(12)と同期して感光基板(5)を走査する基板側ステージ(2)とを有する露光装置に設けられ、感光基板(5)の露光面を投影光学系(8)の像面に平行に合わせ込むための面位置設定装置であって、感光基板(5)が走査される方向に交差する方向の複数の点を含む複数の計測点(A F 1 1 ~ A F 5 9)において感光基板(5)の投影光学系(8)の光軸に平行な方向の高さをそれぞれ計測する多点計測手段(6 2 A, 6 9 A)と、この多点計測手段の計測結果より感光基板(5)の露光面と投影光学系(8)の像面との間の傾斜角の差分を求める演算手段(7 1 A)とを有する。

【0016】更に本発明は、基板側ステージ(2)に設けられ、演算手段(7 1 A)により求められたその傾斜角の差分に基づいて、感光基板(5)のその走査の方向(Y方向)の傾斜角及びその走査の方向に直交する方向(X方向)の傾斜角を設定する傾斜設定ステージ(4)を有し、例えば図5に示すように、傾斜設定ステージ(4)が感光基板(5)のその走査の方向(Y方向)の

傾斜角 $\theta$ 、を設定するときの応答速度と、その走査の方向に直交する方向(X方向)の傾斜角 $\theta$ 、を設定するときの応答速度とを異ならしめたものである。

【0017】この場合、その多点計測手段は、基板側ステージ(2)を介して感光基板(5)が走査されているときに、基板側ステージ(2)の位置基準でそれら複数の計測点における感光基板(5)の高さをサンプリングしても良い。また、その多点計測手段は、その所定形状の照明領域と投影光学系(8)に関して共役な露光領域(2 4)内の複数の点及びその共役な露光領域内に対して感光基板(5)が走査される際の手前の領域内の複数の点よりなる複数の計測点において、感光基板(5)の高さをそれぞれ計測するものであっても良い。

【0018】また、その多点計測手段は、感光基板(5)の1つのショット領域へ順次マスク(12)のパターンを露光する過程において、順次それら複数の計測点の位置を変化させることが望ましい。また、本発明による第2の面位置設定装置は、露光光で所定形状の照明領域を照明する照明光学系と、その照明領域に対して露光用のパターンが形成されたマスク(12)を走査するマスク側ステージ(10)と、その照明領域内のマスク(12)のパターンを感光基板(5)上に投影する投影光学系(8)と、マスク(12)と同期して感光基板(5)を走査する基板側ステージ(2)とを有する露光装置に設けられ、感光基板(5)の露光面の高さを投影光学系(8)の像面に合わせ込むための面位置設定装置であって、その所定形状の照明領域と投影光学系(8)に関して共役な露光領域(2 4)及びこの露光領域に対して感光基板(5)が走査される際の手前の領域よりなる計測領域内の所定の計測点において、感光基板(5)の投影光学系(8)の光軸に平行な方向の高さを計測する高さ計測手段(6 2 A, 6 9 A)と、感光基板(5)を走査した際にその高さ計測手段により得られる複数の高さ計測結果の内の、最大値及び最小値に基づいて感光基板(5)の露光面の平均的な高さとして投影光学系(8)の像面の高さとの差分を求める演算手段(7 1 A)と、基板側ステージ(2)に設けられ、演算手段(7 1 A)により求められたその高さの差分に基づいて、感光基板(5)の高さを設定する高さ設定ステージ(4)とを有するものである。

【0019】

【作用】斯かる本発明の第1の面位置設定装置においては、マスク(12)及び感光基板(5)を同期して走査して感光基板(5)上にマスク(12)のパターン像を露光する際に、例えばその走査の方向の手前の計測点を含む複数の計測点でその多点計測手段を用いて感光基板(5)の高さを計測する。そして、それら複数の計測点でそれぞれ走査の方向に沿って複数回高さ情報を得ることにより、感光基板(5)の傾斜角を求める。その後、そのように傾斜角が求められた領域にマスク(12)の

パターン像を露光する際に、予め求めた傾斜角に基づいてその領域の傾斜角を設定する。これにより、スリットスキャン露光方式でも感光基板(5)の露光面が投影光学系(8)の像面に平行に設定される。

【0020】また、本発明ではそのようなレベリングを行う際に、スキャン方向のレベリングの応答速度と、非スキャン方向レベリングの応答速度とが異なっている。これによる作用効果につき説明するため、スリットスキャン露光時のフォーカシング及びレベリングの誤差要因について説明する。スリットスキャン露光方式の露光装置では、以下の誤差が考えられる。

#### ①フォーカスオフセット誤差及び振動誤差

フォーカスオフセット誤差とは、露光面の平均的な面と投影光学系の像面とのフォーカス位置の差であり、振動誤差とは走査露光する際の基板側ステージのフォーカス方向の振動等に起因する誤差である。これについて、オートフォーカス制御だけを行うものとして、ステッパのように一括露光する場合と、スリットスキャン露光方式で露光する場合とに分けてより詳細に説明する。

【0021】図14(a)は一括露光する場合、図14(b)はスリットスキャン露光方式で露光する場合を示す。図14(a)においては、感光基板の露光面5aの平均的な面34が投影光学系の像面に合致しているが、位置Y a、Y b及びY cのフォーカス位置はそれぞれ一定の平均的な面34に対して、 $-\Delta Z 1$ 、0及び $\Delta Z 2$ だけ異なっている。従って、位置Y a及びY bにおけるフォーカスオフセット誤差はそれぞれ $-\Delta Z 1$ 及び $\Delta Z 2$ である。

【0022】一方、図14(b)の場合には、スキャン方向に対して露光面5a上の一連の部分的な平均面35A、35B、35C、…が順次投影光学系の像面に合わせ込まれる。従って、各位置Y a、Y b及びY cでのフォーカスオフセット誤差はそれぞれ平均化効果で0となる。しかし、位置Y b上の像を形成するのに、平均面35Bから平均面35Dまでの高さ $\Delta Z B$ の間をフォーカス位置が移動するので、位置Y b上の像は、 $\Delta Z B$ だけフォーカス方向にばらつきを持った像になってしまう。同様に、位置Y a及びY c上の像はそれぞれフォーカス方向に $\Delta Z A$ 及び $\Delta Z B$ だけばらつきを持った像になる。

【0023】即ち、スリットスキャン露光方式においては、フォーカスオフセット誤差はある一定周波数以下の感光基板面の凹凸に対しほぼ0になるが、基板側ステージのローリング、ピッチング、フォーカス方向(Z軸方向)の振動、低周波空気揺らぎ誤差にオートフォーカス機構及びオートレベリング機構が追従してしまうことによる誤差成分、露光光(KrFエキシマレーザ光等)の短期の波長変動等が、新たな誤差(振動誤差)を生ずる。

【0024】フォーカス追従誤差、空気揺らぎ誤差、

#### ステージ振動誤差

①で言及した振動誤差の内の代表的な例であり、これらはオートフォーカス機構及びオートレベリング機構の応答周波数に依存するが、更に以下の誤差に分類できる。

(1) 制御系で制御出来ない高周波ステージ振動誤差、露光光(KrFエキシマレーザ光等)の短期の波長変動誤差等、(2) 空気揺らぎ誤差の中で、基板側ステージが追従してしまう低周波空気揺らぎ誤差等、(3) フォーカス位置検出系又は傾斜角検出系の測定結果には含まれるが、基板側ステージが追従しないので、フォーカス誤差にならない測定誤差等。

#### 【0025】②感光基板の露光面の凸凹による誤差

この誤差は、投影光学系による露光フィールドが2次元的な面単位であり、感光基板の露光面でのフォーカス位置の計測を有限個の計測点で且つスリットスキャン露光時に行うことに起因する誤差であり、以下の2つの誤差に分類できる。

(1) 例えば図15(a)及び(b)に示すように、感光基板の露光面5a上の多点でフォーカス位置を計測して位置合わせ対象面(フォーカス面)36A及び36Bを求める場合の計測点の位置に対する演算方法に起因する、そのフォーカス面36Aと理想フォーカス面とのずれの誤差、(2) スキャン速度とオートフォーカス機構及びオートレベリング機構の追従速度との差、フォーカス位置検出系の応答速度等による誤差。

【0026】この場合、フォーカス位置を投影光学系の像面に合わせる場合の応答速度(フォーカス応答)は、図15(c)に示すような時間遅れ誤差と、図15

(d)に示すようなサーボゲインとにより決定される。

即ち、図15(c)において、曲線37Aは、感光基板の露光面5aの一連の部分領域を順次投影光学系の像面に合わせるためのフォーカス方向用の駆動信号(目標フォーカス位置信号)を示し、曲線38Aは、露光面5aの一連の部分領域のフォーカス方向への移動量を駆動信号に換算して得られた信号(追従フォーカス位置信号)を示す。曲線37Aに対して曲線38Aは一定の時間だけ遅れている。同様に、図15(d)において、曲線37Bは、感光基板の露光面5aの一連の部分領域の目標フォーカス位置信号、曲線38Bは、露光面5aの一連の部分領域の追従フォーカス位置信号であり、曲線37Bに対して曲線38Bの振幅(サーボゲイン)は一定量だけ小さくなっている。

【0027】本発明の第1の面位置設定装置では、これらの誤差を取り除く為に、レベリング機構のスキャン方向の応答性と非スキャン方向の応答性を変えている。本発明におけるオートレベリング機構用の多点計測手段としては、斜入射型の多点のフォーカス位置検出系を前提とする。また、投影光学系の露光フィールド内の所定の領域での感光基板の露光面の平均的な面を考慮するのではなく、その所定の領域での露光面の各点と投影光学

系の像面とのずれの最大値を最小にすることを目標とする。このように、投影光学系の露光フィールド内の所定の領域において、感光基板の露光面のほぼ全ての点と投影光学系の像面とのずれの最大値が最小である場合の露光フィールドを「良好なフィールド (Good Field)」と呼ぶ。

【0028】 先ず、図16に示すように、スリット状の照明領域と投影光学系に関して共役なスリット状の露光フィールド24内にフォーカス位置の多数の計測点（不図示）があると仮定する。図16において、感光基板上の1つのショット領域 $S_{A1}$ をスリット状の露光フィールド24に対してY方向に速度 $V/\beta$ で走査するものとして、ショット領域 $S_{A1}$ のスキャン方向の幅を $WY$ 、非スキャン方向の幅を $WX$ 、露光フィールド24のスキャン方向の幅を $D$ とする。また、露光フィールド24内の中心領域24a内の多数の計測点でのフォーカス位置を平均化することにより、露光フィールド24の中心点での平均的な面のフォーカス位置を求め、露光フィールド24のスキャン方向の両端の計測領域24b、24c内の計測点でのフォーカス位置より最小自乗近似に基づいて平均的な面のスキャン方向の傾斜角 $\theta_1$ を求め、露光フィールド24の非スキャン方向の両端の計測領域24b、24c内の計測点でのフォーカス位置より最小自乗近似に基づいて平均的な面の非スキャン方向の傾斜角 $\theta_2$ を求めるものとする。また、スキャン方向のレベリングの応答周波数を $f_m$  [Hz]、非スキャン方向のレベリングの応答周波数を $f_n$  [Hz]として、 $f_m$ 及び $f_n$ の値を独立に設定する。

【0029】 そして、感光基板上のショット領域 $S_{A1}$ のスキャン方向の周期的な曲がりの周期を、スキャン方向の幅 $WY$ （非スキャン方向も同様の曲がり周期に設定する）との比の値として曲がりパラメータ $F$ で表し、その周期的な曲がりがあるときの露光フィールド24内の各計測点でのフォーカス誤差を、スキャンした場合のフォーカス誤差の平均値の絶対値と、スキャンした場合のフォーカス誤差の振幅の $1/3$ との和で表す。また、曲がりパラメータ $F$ の周期的な曲がりの振幅を1に規格化し、曲がりパラメータが $F$ であるときの、それら各計測点でのフォーカス誤差の内の最大値を示す誤差パラメータ $S$ を、曲がりパラメータ $F$ に対する比率として表す。即ち、次式が成立している。

$$F = \text{曲がりの周期} / WY \quad (1)$$

$$S = \text{フォーカス誤差の最大値} / F \quad (2)$$

【0030】 図17(a)は、スキャン方向のレベリングの応答周波数 $f_m$ 、及び非スキャン方向のレベリングの応答周波数 $f_n$ が等しく且つ大きい場合の曲がりパラメータ $F$ に対する誤差パラメータ $S$ を表し、曲線A1は非スキャン方向での誤差パラメータ $S$ 、曲線B1は非スキャン方向の誤差パラメータ $S$ 中の通常のフォーカス誤差の平均値の絶対値、曲線A2はスキャン方向での誤差

パラメータ $S$ 、曲線B2はスキャン方向の誤差パラメータ $S$ 中の通常のフォーカス誤差の平均値を示す。曲線A1及び曲線A2がそれぞれより現実的なフォーカス誤差を現わしている。メータ $F$ の値が小さく露光面の凹凸の周期が小さいときには、スキャン方向のレベリング制御の追従性は悪く（曲線A2）、凹凸の周期が大きくなるにつれて、スキャン方向のレベリング制御が曲がりに追従するようになることが分かる。また、非スキャン方向に対してはスキャン方向の様に逐次フォーカス位置が変わらない為、曲がりの周期が大きくなっても、スキャン方向の追従性より悪い（曲線A1）。以上のように、パラメータ $S$ が0.5以下になるようにフォーカス誤差がなることが望ましいが、スキャン方向及び非スキャン方向共に全体としてフォーカス誤差が大きい。

【0031】 一方、図17(b)は、スキャン方向のレベリングの応答周波数 $f_m$ が非スキャン方向のレベリングの応答周波数 $f_n$ より大きく、且つ両応答周波数 $f_m$ 及び $f_n$ が小さい場合の曲がりパラメータ $F$ に対する誤差パラメータ $S$ を表し、曲線A3は非スキャン方向での誤差パラメータ $S$ 、曲線B3は非スキャン方向の通常のフォーカス誤差の平均値の絶対値、曲線A4はスキャン方向での誤差パラメータ $S$ 、曲線B4はスキャン方向での通常のフォーカス誤差の平均値の絶対値を示す。図17(a)と図17(b)との比較より、ほぼ完全応答（図17(a)）の場合よりも応答周波数が小さい（図17(b)）場合の方が、誤差パラメータ $S$ が0.5に近くなっており、フォーカス誤差は小さいことが分かる。これは、感光基板上の細かい凸凹にオートレベリング機構が追従すると、スリット状の露光フィールド24内で精度が悪化する点が発生するためである。但し、応答周波数を小さくし過ぎると、低周波の凸凹部まで追従できなくなるため、応答周波数は適当な値に設定する必要がある。

【0032】 また、図17(b)の例では、スキャン方向のレベリングの応答周波数 $f_m$ が非スキャン方向のレベリングの応答周波数 $f_n$ より高く設定されている。これは、同じ曲がりパラメータ $F$ の凹凸であっても、スキャン方向ではスリット幅に応じて実質的に周期が短くなるため、良好に露光面の凹凸に追従するための応答周波数は、非スキャン方向よりもスキャン方向で高くする必要があるためである。

【0033】 また、オートレベリング機構用の多点計測手段が、その所定形状の照明領域と投影光学系(8)に関して共役な露光領域(24)内の複数の点及びその共役な露光領域内に対して感光基板(5)が走査される際の手前の領域内の複数の点よりなる複数の計測点において、感光基板(5)の高さをそれぞれ計測する場合に、手前の計測点において部分的にフォーカス位置の先読みが行われる。これを「分割先読み」と呼ぶ。従って、全部の計測点で先読みを行う手法（完全先読み）に

比べて、露光までに多点計測手段でフォーカス位置を読み取る際の長さ（助走距離）が短縮される。

【 0 0 3 4 】 また、その多点計測手段が、感光基板

（ 5 ） の 1 つ の ショット領域へ順次マスク（ 1 2 ） のパターンを露光する過程において、順次それら複数の計測点の位置を変化させる場合には、例えばそのショット領域の端部では分割先読みを行い、そのショット領域の中央部以降では完全先読みを行い、露光位置検出部でオープン制御の確認を行う。これにより、レベリング精度を高精度に維持した状態で、ショット領域の端部での助走距離を短縮して露光のスループットを高めることができる。

【 0 0 3 5 】 次に、本発明の第 2 の面位置設定装置におけるオートフォーカス制御について検討する。上述の良好なフィールド（Good Field）の概念を取り入れると、図 1 6 に示すように、露光フィールド 2 4 の中央部 2 4 a 内の各計測点のフォーカス位置の平均化処理を行って、そのフォーカス位置の平均値で示される面を投影光学系の像面に合わせるのでは、精度が悪化する可能性がある。即ち、図 1 8 （ a ） は、感光基板の深さ H の凹部のある露光面 5 a の各計測点のフォーカス位置の平均値に対応する面 3 4 A を示し、その面 3 4 A と凹部とのフォーカス方向の差  $\Delta Z 3$  は、 $H/2$  より大きくなっている。

【 0 0 3 6 】 これに対して本発明においては、露光面 5 a 上の所定の計測領域内の各計測点のフォーカス位置の最大値と最小値とを求め、それら最大値と最小値との中間のフォーカス位置に対応する面を投影光学系の像面に合わせ込むようにする。図 1 8 （ b ） は、感光基板の深さ H の凹部のある露光面 5 a における、各計測点のフォーカス位置の内の最大値  $Z_{max}$  と最小値  $Z_{min}$  との中間のフォーカス位置に対応する面 3 4 B を示し、面 3 4 B のフォーカス位置  $Z_{ave}$  は次のように表すことができる。

$$Z_{ave} = (Z_{max} + Z_{min}) / 2 \quad (3)$$

【 0 0 3 7 】 その後、その面 3 4 B が投影光学系の像面に合わせ込まれる。また、面 3 4 B と露光面 5 a の表面とのフォーカス方向の差  $\Delta Z 4$  と、面 3 4 B とその凹部とのフォーカス方向の差  $\Delta Z 5$  とは、それぞれほぼ  $H/2$  になっている。即ち、図 1 8 （ a ） の面 3 4 A に比べて図 1 8 （ b ） の面 3 4 B の方が、露光面 5 a 上の各点におけるフォーカス位置の誤差の最大値が小さくなるため、良好なフィールド（Good Field）の概念上では、本発明により感光基板の露光面をより高精度に投影光学系の像面に合わせ込むことができる。

【 0 0 3 8 】 更に、図 1 7 （ a ） のように、スキャン方向のレベリングの応答周波数  $f_m$  と非スキャン方向のレベリングの応答周波数  $f_n$  とを等しく且つ大きくしてオ

$$Z_{ave} = (M \cdot Z_{max} + N \cdot Z_{min}) / (M + N) \quad (4)$$

【 0 0 4 2 】

ートレベリング制御を行うと同時に、図 1 8 （ a ） の平均化処理に基づくオートフォーカス制御又は図 1 8

（ b ） の最大値と最小値との平均値に基づくオートフォーカス制御を施した場合の、曲がりパラメータ F に対する誤差パラメータ S の特性をそれぞれ図 1 9 （ a ） 及び（ b ） に示す。即ち、平均化処理に基づく図 1 9 （ a ） において、曲線 A 5 及び B 5 はそれぞれ非スキャン方向の誤差パラメータ S、曲線 A 6 及び B 6 はそれぞれスキャン方向の誤差パラメータ S を表す。また、最大値と最小値との平均値に基づく図 1 9 （ b ） において、曲線 A 7 及び B 7 はそれぞれ非スキャン方向の誤差パラメータ S、曲線 A 8 及び B 8 はそれぞれスキャン方向の誤差パラメータ S を表す。

【 0 0 3 9 】 図 1 9 （ b ） より明かなように、最大値と最小値との平均値に基づいてオートフォーカス制御を施した場合には、全ての曲がりパラメータ F、即ちあらゆる周波数帯において、誤差パラメータ S の値が 0.5 に近くなっていると共に、平均化処理に基づいてオートフォーカス制御を施した場合に比べてフォーカス誤差の最大値が小さくなっている。

【 0 0 4 0 】 また、図 1 5 （ a ） 及び（ b ） に戻り、所定の計測領域内の計測点で得られたフォーカス位置の最大値と最小値との平均値に基づいてオートフォーカス制御のみを施した場合には、図 1 5 （ a ） に示すように、振幅  $2 \cdot \Delta Z a$  の曲がりをも有する露光面 5 a に対して、最大値とのフォーカス位置の差が  $\Delta Z a$  の面 3 6 A が投影光学系の像面に合わせ込まれる。一方、振幅  $2 \cdot \Delta Z a$  の曲がりをも有する露光面 5 a に対して、単にそれら計測点で得られたフォーカス位置の平均値に基づいてオートフォーカス制御を行うと共に、得られたフォーカス位置の最小自乗近似に基づいてオートレベリング制御を行うと、図 1 5 （ b ） に示すように、振幅  $\Delta Z c$  ( $> 2 \cdot \Delta Z a$ ) の範囲内で最大値からのフォーカス位置の差が  $\Delta Z b$  ( $> \Delta Z a$ ) の面 3 6 B が投影光学系の像面に合わせ込まれることがある。従って、オートレベリング機構を使用する場合でも使用しない場合でも、得られたフォーカス位置の最大値と最小値との平均値に基づいてオートフォーカス制御を行う方がフォーカス誤差が小さくなる。

【 0 0 4 1 】 なお、本発明では、（フォーカス位置の最大値  $Z_{max}$  + フォーカス位置の最小値  $Z_{min}$ ）/2 で定まる面を像面に合わせ込むように制御しているが、デバイス工程によっては感光基板の露光面 5 a の凸部又は凹部の何れかの焦点深度が要求される場合もある。従って、所定の係数 M 及び N を用いて、次式のような比例配分で定まるフォーカス位置  $Z_{ave}$  の面を像面に合わせるような制御を行うことが望ましい。

て説明する。本実施例は、スリットスキャン露光方式の投影露光装置のオートフォーカス機構及びオートレベリング機構に本発明を適用したものである。図 1 は本実施例の投影露光装置を示し、この図 1 において、図示省略された照明光学系からの露光光 E L による矩形的照明領域（以下、「スリット状の照明領域」という）によりレチクル 1 2 上のパターンが照明され、そのパターンの像が投影光学系 8 を介してウエハ 5 上に投影露光される。この際、露光光 E L のスリット状の照明領域に対して、レチクル 1 2 が図 1 の紙面に対して手前方向（又は向こう側）に一定速度  $V$  で走査されるのに同期して、ウエハ 5 は図 1 の紙面に対して向こう側（又は手前方向）に一定速度  $V/\beta$  ( $1/\beta$  は投影光学系 8 の縮小倍率) で走査される。

【0043】レチクル 1 2 及びウエハ 5 の駆動系について説明するに、レチクル支持台 9 上に Y 軸方向（図 1 の紙面に垂直な方向）に駆動自在なレチクル Y 駆動ステージ 1 0 が載置され、このレチクル Y 駆動ステージ 1 0 上にレチクル微小駆動ステージ 1 1 が載置され、レチクル微小駆動ステージ 1 1 上にレチクル 1 2 が真空チャック等により保持されている。レチクル微小駆動ステージ 1 1 は、投影光学系 8 の光軸に垂直な面内で図 1 の紙面に平行な X 方向、Y 方向及び回転方向 ( $\theta$  方向) にそれぞれ微小量だけ且つ高精度にレチクル 1 2 の位置制御を行う。レチクル微小駆動ステージ 1 1 上には移動鏡 2 1 が配置され、レチクル支持台 9 上に配置された干渉計 1 4 によって、常時レチクル微小駆動ステージ 1 1 の X 方向、Y 方向及び  $\theta$  方向の位置がモニターされている。干渉計 1 4 により得られた位置情報 S 1 が主制御系 2 2 A に供給されている。

【0044】一方、ウエハ支持台 1 上には、Y 軸方向に駆動自在なウエハ Y 軸駆動ステージ 2 が載置され、その上に X 軸方向に駆動自在なウエハ X 軸駆動ステージ 3 が載置され、その上に Z レベリングステージ 4 が設けられ、この Z レベリングステージ 4 上にウエハ 5 が真空吸着によって保持されている。Z レベリングステージ 4 上にも移動鏡 7 が固定され、外部に配置された干渉計 1 3 により、Z レベリングステージ 4 の X 方向、Y 方向及び  $\theta$  方向の位置がモニターされ、干渉計 1 3 により得られた位置情報も主制御系 2 2 A に供給されている。主制御系 2 2 A は、ウエハ駆動装置 2 2 B 等を介してウエハ Y 軸駆動ステージ 2、ウエハ X 軸駆動ステージ 3 及び Z レベリングステージ 4 の位置決め動作を制御すると共に、装置全体の動作を制御する。

【0045】また、ウエハ側の干渉計 1 3 によって計測される座標により規定されるウエハ座標系と、レチクル側の干渉計 1 4 によって計測される座標により規定されるレチクル座標系の対応をとるために、Z レベリングステージ 4 上のウエハ 5 の近傍に基準マーク板 6 が固定されている。この基準マーク板 6 上には各種基準マークが

形成されている。これらの基準マークの中には Z レベリングステージ 4 側に導かれた照明光により裏側から照明されている基準マーク、即ち発光性の基準マークも設けられている。

【0046】本例のレチクル 1 2 の上方には、基準マーク板 6 上の基準マークとレチクル 1 2 上のマークとを同時に観察するためのレチクルアライメント顕微鏡 1 9 及び 2 0 が装備されている。この場合、レチクル 1 2 からの検出光をそれぞれレチクルアライメント顕微鏡 1 9 及び 2 0 に導くための偏向ミラー 1 5 及び 1 6 が移動自在に配置され、露光シーケンスが開始されると、主制御系 2 2 A からの指令のもとで、ミラー駆動装置 1 7 及び 1 8 によりそれぞれ偏向ミラー 1 5 及び 1 6 は待避される。

【0047】図 1 のスリットスキャン方式の投影露光装置に、図 2 0 及び図 2 1 を参照して説明した従来方式の斜め入射型の多点フォーカス位置検出系を装着する。但し、本例の多点フォーカス位置検出系は、計測点の個数が従来例よりも多いと共に、計測点の配置が工夫されている。図 2 (b) は、図 2 1 (b) の従来のパターン形成板 6 2 に対応する本例のパターン形成板 6 2 A を示し、図 2 (b) に示すように、パターン形成板 6 2 A の第 1 列目には 9 個のスリット状の開口パターン 7 2 - 1 1 ~ 7 2 - 1 9 が形成され、第 2 列目 ~ 第 5 列目にもそれぞれ 9 個の開口パターン 7 2 - 1 2 ~ 7 2 - 5 9 が形成されている。即ち、パターン形成板 6 2 A には、合計で 4 5 個のスリット状の開口パターンが形成されており、これらのスリット状の開口パターンの像が図 1 のウエハ 5 の露光面上に X 軸及び Y 軸に対して斜めに投影される。

【0048】図 2 (a) は、本例の投影光学系 8 の下方のウエハ 5 の露光面を示し、この図 2 (a) において、投影光学系 8 の円形の照明視野 2 3 に内接する X 方向に長い矩形的露光フィールド 2 4 内に図 1 のレチクル 1 2 のパターンが露光され、この露光フィールド 2 4 に対して Y 方向にウエハ 5 が走査（スキャン）される。本例の多点フォーカス位置検出系により、露光フィールド 2 4 の Y 方向の上側の X 方向に伸びた第 1 列の 9 個の計測点 A F 1 1 ~ A F 1 9、第 2 列の計測点 A F 2 1 ~ A F 2 9、露光フィールド 2 4 内の第 3 列の計測点 A F 3 1 ~ A F 3 9、露光フィールド 2 4 の Y 方向の下側の第 4 列の計測点 A F 4 1 ~ A F 4 9 及び第 5 列の計測点 A F 5 1 ~ A F 5 9 にそれぞれスリット状の開口パターンの像が投影される。

【0049】図 2 (c) は、本例の多点フォーカス位置検出系の受光器 6 9 A を示し、この受光器 6 9 A 上に第 1 列目には 9 個の受光素子 7 5 - 1 1 ~ 7 5 - 1 9 が配置され、第 2 列目 ~ 第 5 列目にもそれぞれ 9 個の受光素子 7 5 - 1 2 ~ 7 5 - 5 9 が配置されている。即ち、受光器 6 9 A には、合計で 4 5 個の受光素子が配列されて



おり、各受光素子上にはスリット状の絞り（図示省略）が配置されている。また、それら受光素子 7 5 - 1 1 ~ 7 5 - 5 9 上にそれぞれ図 2 ( a ) の計測点 A F 1 1 ~ A F 5 9 に投影されたスリット状の開口パターンの像が再結像される。そして、ウエハ 5 の露光面で反射された光を、図 2 0 の回転方向振動板 6 7 に対応する振動板で回転振動することで、受光器 6 9 A 上では再結像された各像の位置が絞りの幅方向である R D 方向に振動する。

【 0 0 5 0 】 各受光素子 7 5 - 1 1 ~ 7 5 - 5 9 の検出信号が信号処理装置 7 1 A に供給され、信号処置装置 7 1 A ではそれぞれの検出信号を回転振動周波数の信号で同期検波することにより、ウエハ上の各計測点 A F 1 1 ~ A F 5 9 のフォーカス位置に対応する 4 5 個のフォーカス信号を生成し、これら 4 5 個のフォーカス信号の内の所定のフォーカス信号より後述のように、ウエハの露光面の傾斜角（レベリング角）及び平均的なフォーカス位置を算出する。これら計測されたレベリング角及びフォーカス位置は図 1 の主制御系 2 2 A に供給され、主制御系 2 2 A は、その供給されたレベリング角及びフォーカス位置に基づいて駆動装置 2 2 B 及び Z レベリングス

テージ 4 を介してウエハ 5 のレベリング角及びフォーカス位置の設定を行う。

【 0 0 5 1 】 従って、本例では図 2 ( a ) に示す 4 5 個の全ての計測点 A F 1 1 ~ A F 5 9 のフォーカス位置を計測することができる。但し、本例では、図 3 に示すように、ウエハのスキャン方向に応じてそれら 4 5 個の計測点中で実際にフォーカス位置を計測する点（以下、「サンプル点」という）の位置を変えている。一例として、図 3 ( a ) に示すように、露光フィールド 2 4 に対して Y 方向にウエハをスキャンする場合で、且つ後述のような分割先読みを行う場合には、第 2 列 2 5 B の計測点中の奇数番目の計測点 A F 2 1, A F 2 3, …, A F 2 9 及び露光フィールド 2 4 内の偶数番目の計測点 A F 3 2, A F 3 4, …, A F 3 8 がサンプル点となる。また、図 3 ( b ) に示すように、露光フィールド 2 4 に対して - Y 方向にウエハをスキャンする場合で、且つ後述のような分割先読みを行う場合には、第 4 列 2 5 D の計測点中の奇数番目の計測点 A F 4 1, A F 4 3, …, A F 4 9 及び露光フィールド 2 4 内の偶数番目の計測点 A F 3 2, A F 3 4, …, A F 3 8 がサンプル点となる。

【 0 0 5 2 】 更に、スリットスキャン露光時のフォーカス位置の計測結果は、ウエハ側のステージの移動座標に応じて逐次変化していくため、それらフォーカス位置の計測結果は、ステージのスキャン方向の座標及び非スキャン方向の計測点の座標よりなる 2 次元のマップとして図 1 の主制御系 2 2 A 内の記憶装置に記憶される。このように記憶された計測結果を用いて、露光時のウエハのフォーカス位置及びレベリング角が算出される。そして、実際に図 1 の Z レベリングステージ 4 を駆動してウ

エハの露光面のフォーカス位置及びレベリング角を設定する場合は、計測結果に従ってオープンループ制御により Z レベリングステージ 4 の動作が制御される。この場合、予め計測された結果に基づいて露光フィールド 2 4 内での露光が行われる。即ち、図 4 ( a ) に示すように、例えば第 2 列 2 5 B の計測点の所定のサンプリング点でウエハ上の領域 2 6 のフォーカス位置の計測が行われ、その後図 4 ( b ) に示すようにウエハ上の領域 2 6 が露光フィールド 2 4 内に達したときに、図 4 ( a ) の計測結果に基づいて、ウエハ上の領域 2 6 のフォーカシング及びレベリング制御が行われる。

【 0 0 5 3 】 図 5 は本例の Z レベリングステージ 4 及びこの制御系を示し、この図 5 において、Z レベリングステージ 4 の上面部材は下面部材上に 3 個の支点 2 8 A ~ 2 8 C を介して支持されており、各支点 2 8 A ~ 2 8 C はそれぞれフォーカス方向に伸縮できるようになっている。各支点 2 8 A ~ 2 8 C の伸縮量を調整することにより、Z レベリングステージ 4 上のウエハ 5 の露光面のフォーカス位置、スキャン方向の傾斜角  $\theta_1$ 、及び非スキャン方向の傾斜角  $\theta_2$  を所望の値に設定することができ、各支点 2 8 A ~ 2 8 C の近傍にはそれぞれ、各支点のフォーカス方向の変位量を例えば  $0.01 \mu\text{m}$  程度の分解能で計測できる高さセンサー 2 9 A ~ 2 9 C が取り付けられている。なお、フォーカス方向（Z 方向）への位置決め機構として、よりストロークの長い高精度な機構を別に設けても良い。

【 0 0 5 4 】 Z レベリングステージ 4 のレベリング動作を制御するために、主制御系 2 2 A はフィルタ部 3 0 A 及び 3 0 B にそれぞれ刻々に変化する非スキャン方向の設定すべき傾斜角  $\theta_1$ 、及びスキャン方向の設定すべき傾斜角  $\theta_2$  を供給する。フィルタ部 3 0 A 及び 3 0 B はそれぞれ異なるフィルタ特性でフィルタリングして得られた傾斜角を演算部 3 1 に供給し、主制御系 2 2 A は演算部 3 1 にはウエハ 5 上の露光対象とする領域の座標 W ( X, Y ) を供給する。演算部 3 1 は、座標 W ( X, Y ) 及び 2 つの傾斜角に基づいて駆動部 3 2 A ~ 3 2 C に設定すべき変位量の情報を供給する。各駆動部 3 2 A ~ 3 2 C にはそれぞれ高さセンサー 2 9 A ~ 2 9 C から支点 2 9 A ~ 2 9 C の現在の高さの情報も供給され、各駆動部 3 2 A ~ 3 2 C はそれぞれ支点 2 9 A ~ 2 9 C の高さを演算部 3 1 に設定された高さに設定する。

【 0 0 5 5 】 これにより、ウエハ 5 の露光面のスキャン方向の傾斜角及び非スキャン方向の傾斜角がそれぞれ所望の値に設定されるが、この際にフィルタ部 3 0 A 及び 3 0 B の特性の相違により、スキャン方向のレベリングの応答周波数  $f_m$  [ H z ] が非スキャン方向のレベリングの応答速度  $f_n$  [ H z ] よりも高めに設定されている。一例としてスキャン方向のレベリングの応答周波数  $f_m$  は  $10 \text{ H z}$ 、非スキャン方向のレベリングの応答速度  $f_n$  は  $2 \text{ H z}$  である。

【0056】また、支点28A、28B及び28Cが配置されている位置をそれぞれ駆動点TL1、TL2及びTL3と呼ぶと、駆動点TL1及びTL2はY軸に平行な1直線上に配置され、駆動点TL3は駆動点TL1とTL2との垂直2等分線上に位置している。そして、投影光学系によるスリット状の露光フィールド24が、ウエハ5上のショット領域SA<sub>11</sub>上に位置しているものとすると、本例では、支点28A～28Cを介してウエハ5のレベリング制御を行う際に、そのショット領域SA<sub>11</sub>のフォーカス位置は変化しない。従って、レベリング制御とフォーカス制御とが分離した形で行われるようになっている。また、ウエハ5の露光面のフォーカス位置の設定は、3個の支点28A～28Cを同じ量だけ変位させることにより行われる。

$$\begin{aligned} SX &= \sum X_i, \quad SX^2 = \sum X_i^2, \quad SMZ = \sum AF(X_i, Y_i), \\ SXZ &= \sum (AF(X_i, Y_i) \cdot X_i) \end{aligned} \quad (5)$$

同様に、和演算Σ<sub>n</sub>が添字nに関する1～Nまでの和を

$$\begin{aligned} SY &= \sum Y_i, \quad SY^2 = \sum Y_i^2, \quad SNZ = \sum AF(X_i, Y_i), \\ SYZ &= \sum (AF(X_i, Y_i) \cdot Y_i) \end{aligned} \quad (6)$$

【0059】そして、(5)式及び(6)式を用いて次の演算を行う。

$$An = (SX \cdot SMZ - M \cdot SXZ) / (SX^2 - M \cdot SX^2) \quad (7)$$

$$Am = (SY \cdot SNZ - N \cdot SYZ) / (SY^2 - N \cdot SY^2) \quad (8)$$

次に、各Anより、最小自乗近似によりスキャン方向のn番目のサンプル点における非スキャン方向(X方向)の傾斜角AL(Y<sub>i</sub>)を求め、各Amより、最小自乗近似により非スキャン方向のm番目のサンプル点におけるスキャン方向(Y方向)の傾斜角AL(X<sub>i</sub>)を求める。その後、次のような平均化処理により非スキャン方向の傾斜角θ<sub>1</sub>及びスキャン方向の傾斜角θ<sub>2</sub>を求める。

$$\theta_1 = (\sum AL(Y_i)) / N \quad (9)$$

$$\langle AF \rangle = (\sum \sum AF(X_i, Y_i)) / (M \cdot N) \quad (11)$$

【0061】次に、最大最小検出法では、最大値及び最小値を表す関数をそれぞれMax( )及びMin( )とし

$$AF' = (\text{Max}(AF(X_i, Y_i)) + \text{Min}(AF(X_i, Y_i))) / 2 \quad (12)$$

そして、図4(b)に示すように、計測された領域26が露光フィールド24に達したときには、(9)式、

(10)式、(12)式の検出結果θ<sub>1</sub>、θ<sub>2</sub>及びAF'に基づいて、図5の3個の支点28A～28Cがそれぞれ高さセンサー29A～29Cの計測結果を基準としてオープンループで駆動される。具体的に、オートフォーカス制御は、3個の支点28A～28Cを同時に駆動することにより実行され、オートレベリング制御は、図5に示す露光フィールド24内のフォーカス位置が変化しないように実行される。

【0062】即ち、図5において、露光フィールド24の中心点と支点28A、28BのX方向の間隔をX<sub>1</sub>、露光フィールド24の中心点と支点28CのX方向の間隔をX<sub>2</sub>、露光フィールド24の中心点と支点28AのY方向の間隔をY<sub>1</sub>、露光フィールド24の中心点と支

【0057】次に、本例のレベリング動作及びフォーカシング動作につき詳細に説明する。まず、レベリング用の傾斜角及びフォーカシング用のフォーカス位置の算出法を示す。

#### (A) 傾斜角の算出法

図4に示すように、各列の計測点において非スキャン方向のm番目のサンプル点のX座標をX<sub>i</sub>、スキャン方向のn番目のサンプル点のY座標をY<sub>i</sub>として、X座標X<sub>i</sub>及びY座標Y<sub>i</sub>のサンプル点で計測されたフォーカス位置の値をAF(X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>)で表す。また、非スキャン方向のサンプル数をM、スキャン方向のサンプリング数をNとして、次の演算を行う。但し、和演算Σ<sub>i</sub>は添字mに関する1～Mまでの和を表す。

【0058】

表すものとして、次の演算を行う。

$$\theta_1 = (\sum AL(X_i)) \quad (10)$$

#### 【0060】(B) フォーカス位置算出法

フォーカス位置の算出法には平均化処理法と最大最小検出法とがあり、本例では最大最小検出法でフォーカス位置を算出する。参考のため、平均化処理法では、上述のフォーカス位置の値AF(X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>)を用いて、次式よりウエハ5の露光面の全体としてのフォーカス位置

〈AF〉を計算する。

て、次式よりウエハ5の露光面の全体としてのフォーカス位置AF'を計算する。

点28BのY方向の間隔をY<sub>2</sub>として、非スキャン方向の傾斜角θ<sub>1</sub>の結果に基づき、支点28A、28Bと支点28CとにそれぞれX<sub>1</sub>:X<sub>2</sub>との比で逆方向の変位が与えられ、スキャン方向の傾斜角θ<sub>2</sub>の結果に基づき、支点28Aと支点28BとにそれぞれY<sub>1</sub>:Y<sub>2</sub>との比で逆方向の変位が与えられる。

【0063】また、上記処理法では、フォーカス位置及び傾斜角が露光装置に応じて刻々変化するので実際のフォーカス位置の計測値を補正する必要がある。図6

(a)は、或るフォーカス位置の計測点(AF点)でウエハの露光面5a上の領域26の全体としてのフォーカス位置及び傾斜角を計測している状態を示し、図6

(a)の状態では、図5の各駆動点TL1～TL3にある支点のフォーカス方向の駆動量〈TL1〉、〈TL2〉及び〈TL3〉はそれぞれ0(基準位置)であると

する。そして、その領域26が図6(b)に示すように、露光フィールド内の露光点に達したときには、露光のためにそれら駆動量はそれぞれ、 $\langle TL1 \rangle = a$ 、 $\langle TL2 \rangle = b$ 、 $\langle TL3 \rangle = c$ 、に設定される。この場合、フォーカス位置の計測点(AF点)で計測されている領域26Aのフォーカス位置は、図6(a)の場合に比べて $\Delta F$ だけ変化しているが、この $\Delta F$ の変化量には各駆動点TL1~TL3における駆動量の影響が含まれているため、次に領域26Aの露光を行う場合には、図6(b)の状態での各駆動点TL1~TL3の駆動量を補正する形でレベリング及びフォーカシングを行う必要がある。

【0064】即ち、領域26に関して計測されたフォーカス位置、X方向の傾斜角及びY方向の傾斜角をそれぞれ $F_1$ 、 $\theta_{11}$ 及び $\theta_{12}$ として、領域26Aに関して計測されたフォーカス位置、X方向の傾斜角及びY方向の傾斜角をそれぞれ $F_1'$ 、 $\theta_{11}'$ 及び $\theta_{12}'$ とする。また、フォーカス位置の計測点(AF点)と露光点とのX方向及びY方向の間隔をそれぞれ $\Delta X$ 及び $\Delta Y$ とすると、フォーカス位置の補正量 $\Delta F1$ は次のようになる。

$$\Delta F1 = -F_1' - \theta_{11}' \cdot \Delta X - \theta_{12}' \cdot \Delta Y \quad (13)$$

【0065】その補正量 $\Delta F1$ を用いると、領域26Aに関して計測されたフォーカス位置、X方向の傾斜角及びY方向の傾斜角のそれぞれの補正後の値 $F_1$ 、 $\theta_{11}$ 及び $\theta_{12}$ は次のようになる。

$$F_1 = F_1' + \Delta F1 \quad (14)$$

$$\theta_{11} = \theta_{11}' - \theta_{11} \quad (15)$$

$$f = (V/\beta) / L_1 \cdot (L_1 / p) = (V/\beta) / p \quad (18)$$

従って、走査速度 $V/\beta$ が変化すると周波数 $f$ も変化するので、最適な応答周波数 $\nu$ を新たに求める必要がある。このようにして求めた応答周波数 $\nu$ よりサーボゲインを決定する。

#### 【0068】(D) 数値フィルタリング法

ここでウエハの露光面上の凹凸のピッチ $p$ は、ステージ位置に依存した関数なので、フォーカス位置のサンプリングをステージ位置に同期して位置基準で行うと、走査速度 $V/\beta$ に依存しない制御が可能になる。即ち、位置関数で伝達関数 $G(s)$ と同等のフィルタリング効果を持たせるためには、伝達関数 $G(s)$ を逆フーリエ変換して位置関数 $F(x)$ を求め、この位置関数 $F(x)$ を用いて数値フィルタリングを行う。具体的に応答周波数 $\nu$ の伝達関数 $G(s)$ の一例を図7(a)に示し、それに対応する位置関数 $F(x)$ を図7(b)に示す。但し、数値フィルタリング時は助走スキャン距離をとる必要があり、これを行わない場合は位相遅れが生じる。

【0069】なお、上述のサーボゲイン可変法及び数値フィルタリング法の内何れの方法においても、位相遅れとフィルタリング効果とで応答性を管理する。位相遅れ(時間遅れ)とは、図15(c)の曲線37Aで示される目標とするフォーカス位置に対応する信号と、曲線

$$\theta_{11} = \theta_{11}' - \theta_{11} \quad (16)$$

また、ウエハ5の露光面の高周波の凸凹面に対しては追従しない様に応答性を管理する必要がある。即ち、ウエハ5の走査速度が変わった場合も、ステージ位置に対応した応答が要求されるので、計測されたフォーカス位置及び傾斜角を高速フーリエ変換(FFT)用の数値フィルターで管理するか、図5の3個の支点28A~28Cの駆動部のサーボゲインを速度に応じて可変できる機構にする。但し、FFT用の数値フィルターは予備スキャンが必要で、サーボゲインは位相遅れがあるので、これらを考慮した機構が必要である。

#### 【0066】(C) サーボゲイン可変法

ここでは図5の3個の支点28A~28Cの駆動部のサーボゲインを速度に応じて可変する方法の一例につき説明する。ウエハの走査速度が $V/\beta$ のときの応答周波数を $\nu$ とすると、伝達関数 $G(s)$ は以下の様に表される。

$$G(s) = 1 / (1 + Ts) \quad (17)$$

但し、 $T = 1 / (2\pi\nu)$ 、 $s = 2\pi fi$ 、である。

【0067】解析結果より、走査速度 $V/\beta$ が80mm/sの場合、非スキャン方向の応答周波数 $\nu$ は2Hzが最適で、スキャン方向の応答周波数 $\nu$ は10Hzが最適であることが分かった。但し、ウエハの露光面の凸凹をピッチ $p$ の正弦波で表し、ウエハ上の各ショット領域の走査方向の長さを $L$ 、とすると、(17)式中の周波数 $f$ は次のようになる。

38Aで示される実際に計測されたフォーカス位置に対応する信号との間に存在する時間遅れである。フィルタリング効果とは、図15(d)の曲線37B及び38Bで示すように、目標とするフォーカス位置に対して実際のフォーカス位置の振幅を所定量だけ小さくすることである。

【0070】上述のように、本例ではウエハの各ショット領域への露光を行う際に、予備的な走査である助走スキャンを行う場合がある。そこで、その助走スキャン距離の設定方法について説明する。図8(a)は、ウエハ上のショット領域 $SA_{11}$ の露光が終わってから、順次隣りのショット領域 $SA_{12}$ 及び $SA_{13}$ へレチクルのパターンを露光する場合の走査方法を示す。この図8(a)において、ウエハを-Y方向に走査して、ウエハ上のショット領域 $SA_{11}$ への露光が終わってから、加減速期間 $T_{11}$ の間にウエハをX軸及びY軸に対して斜めに移動させて、次のショット領域 $SA_{12}$ の下端の近傍を投影光学系の露光フィールドに配置する。最初のショット領域 $SA_{11}$ への露光が終わってから、次のショット領域 $SA_{12}$ の下端の近傍へ移動する間にY方向へ間隔 $\Delta L$ の移動が行われる。また、その加減速期間 $T_{11}$ の終期において、ウエハのY方向への移動が開始される。

【0071】その後の制定（整定）期間 $T_{11}$ の間に、ウエハの走査速度がほぼ $V/\beta$ に達し、それに続く露光期間 $T_{12}$ の間にショット領域 $SA_{11}$ へのレチクルのパターンの露光が行われる。この場合の、ウエハ側での加減速期間 $T_{11}$ 、制定期間 $T_{11}$ 及び露光期間 $T_{12}$ を図8（c）に示し、レチクル側での加減速期間 $T_{11}$ 、制定期間 $T_{11}$ 及び露光期間 $T_{12}$ を図8（b）に示す。なお、レチクル側では図8（a）のように隣のショット領域へ移動する必要がないため、レチクル側のステージの移動はY軸に沿う往復運動である。また、ウエハ側では、図8

（c）に示すように、加減速期間 $T_{11}$ から制定期間 $T_{11}$ へ移行する程度の時点 $t_1$ から、多点フォーカス位置検出系によるフォーカス位置のサンプリングが開始される。

【0072】本例では位相遅れとフィルタリング効果とで、レベリング及びフォーカシング時の応答性を管理するので、ウエハ上でフォーカス位置のサンプリングを開始するときの開始点が、状況によって異なってくる。例えば、サンプリングをステージ位置に同期させるものとして、数値フィルタリングを行うとすると、次の手順でサンプリング開始位置が決定される。

【0073】まず、図7（a）のように伝達関数 $G(s)$ が与えられ、この伝達関数 $G(s)$ より逆フーリエ変換で図7（b）の位置関数 $F(x)$ を求め、この位置関数 $F(x)$ の原点からゼロクロス点までの長さ $\Delta L$ を求める。この長さ $\Delta L$ が、図8（a）に示すように、隣のショット領域 $SA_{11}$ への露光のために斜めに移動する際のY方向への移動量 $\Delta L$ と等しい。

【0074】また、レチクルの加減速期間 $T_{11}$ に対して、ウエハの加減速期間 $T_{11}$ が小さいため、時間 $(T_{11} - T_{11})$ はウエハ側の待ち時間となる。この場合、 $\Delta L < (V/\beta)(T_{11} - T_{11})$ 、のときはスループットの低下にならないが、 $\Delta L > (V/\beta)(T_{11} - T_{11})$ 、のときはスループットの低下となる。なお、 $\Delta Y = \Delta L - (V/\beta)(T_{11} - T_{11})$ 、で表される長さ $\Delta Y$ は位相遅れとして処理しても、伝達関数 $G(s)$ と同様のフィルタリング効果が得られれば、固定関数として良い。これらのフィルタリングを行うことにより、多点フォーカス位置検出系に対する空気揺らぎや、多点フォーカス位置検出系の制御誤差の影響を低減する効果も期待できる。

【0075】次に、本例のスリットスキャン露光方式の投影露光装置における、多点フォーカス位置検出系の計測点中のサンプル点の配置を検討する。まず、図2

（a）において、多点フォーカス位置検出系による計測点AF11～AF59の内、スリット状の露光フィールド24内の計測点AF31～AF39のフォーカス位置の計測結果を用いる場合、即ち計測点AF31～AF39をサンプル点とする場合には、従来のステッパーの場合と同様の「露光位置制御法」による制御が行われ

る。更に、本例のウエハのスキャンはY方向又は-Y方向へ行われるので、露光フィールド24に対して走査方向の手前に計測点中のサンプルを配置することで、先読み制御、時分割レベリング計測、及び計測値平均化等が可能になる。

【0076】先読み制御とは、図2（a）によるウエハを露光フィールド24に対して-Y方向にスキャンする場合には、走査の手前の計測点AF41～AF49、AF51～AF59中からもサンプル点を選択することを意味する。先読み制御を行うことにより、オートフォーカス機構及びオートレベリング機構の伝達関数 $G$

$(s)$ に対して、実際の応答周波数に対する追従誤差は $|1 - G(s)|$ となる。但し、この追従誤差には位相遅れとフィルタリング誤差要因とが入っているので、先読み制御を行えば、位相遅れを除去できることになる。この誤差は $1 - |G(s)|$ なので、約4倍の伝達能力を持たせる事が出来る。

【0077】図9（a）は従来と同様の露光位置制御を行った場合の目標とするフォーカス位置に対応する曲線39A及び実際に設定されたフォーカス位置に対応する曲線38Bを示し、図9（b）は先読み制御を行った場合の目標とするフォーカス位置に対応する曲線40A及び実際に設定されたフォーカス位置に対応する曲線40Bを示し、露光位置制御では位相がずれている。従って、露光位置制御の場合の目標位置と追従位置との差 $F_a$ は、先読み制御の場合の目標位置と追従位置との差 $F_b$ の約4倍となる。従って、先読み制御では約4倍の伝達能力をもたせることができる。

【0078】しかし、既に述べた様に、オートレベリングの応答周波数はスキャン方向で10Hz程度が適当（位置制御法では）なので、先読み制御を行うと、スキャン方向では2.5Hz程度のフィルタリング応答で良いことになる。このフィルタリングを数値フィルタ又は制御ゲインによって行くと、ウエハの走査速度を80mmとして、 $5 (\approx 80/(2\pi \times 2.5))$ mm程度の助走スキャン長が、露光前に必要になる。以下に両制御法による、フォーカス誤差を示す。

【0079】そのため、図17の場合と同様に、ウエハ上のショット領域 $SA_{11}$ のスキャン方向の周期的な曲がりの周期を、スキャン方向の幅との比の値として曲がりパラメータ $F$ で表し、その周期的な曲がりがあるときの各計測点でのフォーカス誤差を、各計測点でのフォーカス位置の誤差の平均値の絶対値と、フォーカス位置の誤差の振幅の $1/3$ との和で表す。また、曲がりパラメータ $F$ の周期的な曲がりの振幅を1に規格化し、曲がりパラメータが $F$ であるときの、それら各計測点でのフォーカス誤差の内の最大値を示す誤差パラメータ $S$ を、曲がりパラメータ $F$ に対する比率として表す。

【0080】図10（a）は、露光位置制御を行った場合で、且つスキャン方向のレベリングの応答周波数 $f_m$

が 10 Hz、非スキャン方向のレベリングの応答周波数  $f_n$  が 2 Hz の場合の曲がりパラメータ F に対する誤差パラメータ S を表し、曲線 A 9 及び B 9 は共に非スキャン方向での誤差パラメータ S、曲線 A 10 及び B 10 は共にスキャン方向での誤差パラメータ S を示す。一方、図 17 (b) は、先読み制御を行った場合で、且つスキャン方向のレベリングの応答周波数  $f_m$  が 2.5 Hz、非スキャン方向のレベリングの応答周波数  $f_n$  が 0.5 Hz の場合の曲がりパラメータ F に対する誤差パラメータ S を表し、曲線 A 11 及び B 11 は共に非スキャン方向での誤差パラメータ S、曲線 A 12 及び B 12 は共にスキャン方向での誤差パラメータ S を示す。

【0081】以上の様に先読み制御で位相遅れを除去することは、応答を向上するためには良いが、応答を低下させる場合には適さない。しかし、先読み制御はソフトウェア的に自由度が多く、図 11 で示すような時間的平均化及び露光開始時のフォーカス位置の計測点の予測設定を行うこともできる。即ち、図 11 (a) において、ウエハの露光面 5 a 上の或る領域 26 B に対して多点フォーカス位置検出系の走査方向に対して手前のサンプル点 (A F 点) において、幅  $\Delta L$  の長さだけフォーカス位置が検出される。そして、図 11 (b) に示すように、領域 26 B が露光点に達したときには、幅  $\Delta L$  の範囲で検出されたフォーカス位置の情報を平均化して高精度にレベリング及びフォーカシングが行われる。

【0082】また、図 11 (c) に示すように、露光位置制御法で計測点と露光点とが等しい場合で、ウエハの露光面 5 a に段差部 26 C があっても、図 11 (d) に示すように、フォーカス対象とする面 (フォーカス面) A F P は次第に上昇するだけで、その段差部 26 C ではデフォーカスされた状態で露光が行われる。これに対して、図 11 (e) に示すように、先読み制御法で計測点と露光点とが離れている場合で、ウエハの露光面 5 a に段差部 26 D があると、予めその段差に合わせて図 11 (f) に示すように、フォーカス面 A F P を次第に上昇することにより、その段差部 26 D では合焦された状態で露光が行われる。

【0083】なお、先読み制御法のみならず、通常の露光位置制御法も備えておき、2つの制御法を選択可能なシステムにすることが望ましい。本例のオートフォーカス及びオートレベリング機構には、上述のような機能があるので、実際にウエハの露光面の制御を行うには、①露光位置制御、②完全先読み制御、③分割先読み制御よりなる3種類の制御法が考えられる。以下ではこれら3種類の制御法につき詳細に説明する。

#### (F) 露光位置制御法

この方式ではオートフォーカス及びオートレベリング機構の応答性能を一切考慮せず、露光時に計測して得られたフォーカス位置の値を用いて、ウエハの露光面のフォーカス位置及びレベリング角の制御を行う。即ち、図 1

2 (a) に示すように、露光フィールド 24 に対して走査方向 (Y 方向) に手前側の第 2 列 25 B の偶数番目の計測点をサンプル点 41 として、露光フィールド 24 内の第 3 列 25 C の奇数番目の計測点をもサンプル点とする。そして、第 2 列 25 B のサンプル点でのフォーカス位置の計測値と第 3 列 25 C のサンプル点でのフォーカス位置の計測値とから、ウエハの露光面のスキャン方向のレベリング制御を行う。

【0084】また、第 2 列 25 B 及び第 3 列 25 C のサンプル点でのフォーカス位置の計測値から最小自乗近似法で非スキャン方向の傾きを求めて、非スキャン方向のレベリング制御を行う。また、フォーカス制御は、露光フィールド 24 内の第 3 列の計測点でのフォーカス位置の計測値も用いてフォーカス制御を行う。なお、図 12 (b) に示すように、ウエハのスキャン方向が -Y 方向である場合には、サンプル点は第 3 列 25 C 及び第 4 列 25 D の計測点から選択される。この方式では、最も制御が簡単であるが、ウエハのスキャン速度等により追従精度が変わってしまうという不都合がある。また、第 2 列 25 B 及び第 3 列 25 C の各計測点でのフォーカス位置のキャリブレーションが必要である。

#### 【0085】(G) 完全先読み制御法

この方式では、図 12 (c) に示すように、露光フィールド 24 に対して走査方向に手前側の第 1 列 25 A の全ての計測点をサンプル点として、予め露光前に第 1 列 25 A のサンプル点でのフォーカス位置の値を全て計測しておく。そして、平均化処理やフィルタリング処理を行い、位相遅れを見込んで露光時にオープンでオートフォーカス及びオートレベリング機構を制御する。即ち、第 1 列 25 A の各サンプル点でのフォーカス位置の計測値を記憶しておき、時間軸上で計測されたフォーカス位置の値からスキャン方向の傾きを算出し、露光時にスキャン方向のレベリング制御をオープン制御で行う。

【0086】それと並行して、第 1 列 25 A の各サンプル点でのフォーカス位置の計測値から最小自乗近似法で非スキャン方向の傾きを求め、非スキャン方向のレベリング制御をオープン制御で行う。先読みなので、時間軸での平均化も可能である。また、第 1 列 25 A の各サンプル点でのフォーカス位置の計測値を記憶しておき、露光時にフォーカス合わせをオープン制御で行う。なお、図 12 (d) に示すように、ウエハの走査方向が -Y 方向の場合には、第 5 列 25 E の全ての計測点がサンプル点として選択される。

【0087】この方式では、第 1 列 25 A においてサンプル点が 9 点確保できるため、情報量が多く精度向上が期待できる。また、サンプル点は 1 ラインなのでキャリブレーションが不要である共に、応答性の管理ができるという利点がある。一方、第 1 列 25 A のサンプル点に関してともに計測を行うと、各ショット領域の端部の露光を行うために走査すべき距離 (助走スキャン長) が

長くなり、スルーブットが低下する不都合がある。また、オープン制御なので、多点フォーカス位置検出系による確認ができないという不都合もある。

#### 【0088】 (H) 分割先読み制御法

この方式では、図12(e)に示すように、露光フィールド24に対して走査方向(Y方向)に手前側の第2列25Bの奇数番目の計測点をサンプル点として、露光フィールド24内の第3列25Cの偶数番目の計測点をもサンプル点とする。そして、第2列25B及び第3列25Cのサンプル点において、予め露光前にフォーカス位置の値を全て計測しておく。その後、平均化処理やフィルタリング処理を行い、位相遅れを見込んで露光時にオープン制御で制御を行う。即ち、第2列25B及び第3列25Cのサンプル点におけるフォーカス位置の計測値を記憶しておき、時間軸上で計測されたフォーカス位置の値からスキャン方向の傾きを算出し、露光時にスキャン方向のレベリングをオープン制御で行う。

【0089】 また、第2列25B及び第3列25Cのサンプル点におけるフォーカス位置の計測値から最小自乗近似法で非スキャン方向の傾きを求め、非スキャン方向のレベリングをオープン制御で行う。先読みなので、時間軸での平均化も可能である。また、第2列25B及び第3列25Cのサンプル点におけるフォーカス位置の計測値を記憶しておき、露光時にフォーカス合わせをオープン制御で行う。なお、図12(f)に示すように、ウエハのスキャン方向が-Y方向である場合には、サンプル点は第3列25C及び第4列25Dの計測点から選択される。

【0090】 この方式では、第2列25B(又は第4列25D)が露光フィールド24に近接しているため、ウエハの各ショット領域の端部の露光を行うための助走スキャン距離を少なくできると共に、応答性の管理ができるという利点がある。また、露光時の第3列25Cのサンプル点でのフォーカス位置の計測値から、オープン制御で露光面の制御を行った結果の確認が可能である。一方、第2列25Bのサンプル点でのフォーカス位置と第3列のサンプル点でのフォーカス位置とのキャリブレーションが必要であるという不都合がある。

#### 【0091】 また、完全先読み制御法では、図13

(a)~(d)に示すように、露光開始、露光中及び露光終了間隙のフォーカス位置のサンプル点を変えることによって、より正確なオートフォーカス及びオートレベリング制御を行っている。即ち、図13(a)に示すように、露光すべきショット領域SAが露光フィールド24に対して間隔D(露光フィールド24のスキャン方向の幅と同じ)の位置に達したときに、露光フィールド24から間隔Dのサンプル領域42で多点フォーカス位置検出系によるフォーカス位置の計測が開始される。幅D、即ち露光フィールド24のスキャン方向の幅の一例は8mmである。その後、図13(b)に示すように、

ショット領域SAの先端部が露光フィールド24に接触したときに、ウエハ上の2個のサンプル点間の検出域44でのフォーカス位置の計測値に基づいてスキャン方向のレベリング制御が行われ、1個のサンプル点よりなる検出域45でのフォーカス位置の計測値に基づいてオートフォーカス制御が行われる。

【0092】 次に、図13(c)に示すように、ショット領域SAの先端部が露光フィールド24に入ったときに、ウエハ上の2個のサンプル点間の検出域44でのフォーカス位置の計測値に基づいてスキャン方向のレベリング制御が行われ、2個のサンプル点間の検出域45でのフォーカス位置の計測値に基づいてオートフォーカス制御が行われる。また、図13(d)に示すように、ショット領域SAが露光フィールド24を覆うようになったときには、露光フィールド24を覆う検出域44でのフォーカス位置の計測値に基づいてスキャン方向のレベリング制御が行われ、露光フィールド24を覆う検出域45でのフォーカス位置の計測値に基づいてオートフォーカス制御が行われる。

#### 【0093】 一方、分割先読み制御法でも、図13

(e)~(h)に示すように、露光開始、露光中及び露光終了間隙のフォーカス位置のサンプル点を変えることによって、より正確なオートフォーカス及びオートレベリング制御を行っている。即ち、図13(e)に示すように、露光すべきショット領域SAが露光フィールド24に対して間隔D/2(露光フィールド24のスキャン方向の幅の1/2)の位置に達したときに、露光フィールド24から外側に間隔D/2のサンプル領域43A及び露光フィールド24から内側に間隔D/2のサンプル領域43Bで多点フォーカス位置検出系によるフォーカス位置の計測が開始される。その後、図13(f)に示すように、ショット領域SAの先端部が露光フィールド24に接触したときに、露光フィールド24を覆う検出域46でのフォーカス位置の計測値に基づいてスキャン方向のレベリング制御が行われ、1個のサンプル点よりなる検出域47でのフォーカス位置の計測値に基づいてオートフォーカス制御が行われる。

【0094】 次に、図13(g)に示すように、ショット領域SAの先端部が露光フィールド24に幅D/2だけ入ったときに、露光フィールド24を覆う検出域46でのフォーカス位置の計測値に基づいてスキャン方向のレベリング制御が行われ、幅D/2の検出域47でのフォーカス位置の計測値に基づいてオートフォーカス制御が行われる。また、図13(h)に示すように、ショット領域SAが露光フィールド24を覆うようになったときには、露光フィールド24を覆う検出域46でのフォーカス位置の計測値に基づいてスキャン方向のレベリング制御が行われ、露光フィールド24を覆う検出域47でのフォーカス位置の計測値に基づいてオートフォーカス制御が行われる。図13より、分割先読み法では、助

走スキャン長 (=  $D/2$ ) を完全先読み法に比べて  $1/2$  にできることが分かる。

【0095】なお、上述実施例においては、ウエハの露光面の多点のフォーカス位置を計測するために、2次元的に配列されたスリット状の開口パターン像をウエハ上に投影する多点フォーカス位置検出系が使用されている。しかしながら、その代わりに、非スキャン方向に細長いスリット状になっているパターンの像をウエハ上に投影し、その非スキャン方向の全体のフォーカス位置を計測する1次元のフォーカス位置検出系を使用しても良い。また、画像処理方式のフォーカス位置検出系を用いて、ウエハの露光面上の2次元的なフォーカス位置の分布を計測する場合でも、上述実施例と同様の分割先読み等を適用することにより、高精度なフォーカシング及びレベリングを行うことができる。更に、本例では図17より分かるように、非スキャン方向のレベリング誤差に対して、スキャン方向のレベリング誤差が小さいことから、スキャン方向のレベリング動作を行うことなく、非スキャン方向のみのレベリング動作を行っても良い。

【0096】なお、本発明は上述実施例に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0097】

【発明の効果】本発明の第1の面位置設定装置によれば、スリットスキャン露光方式の投影露光装置において、感光基板の表面の凹凸、多点計測手段の計測精度、空気揺らぎ等による誤差を補正して、感光基板の露光面を投影光学系の像面に対して高精度に平行に合わせることが出来る利点がある。

【0098】また、多点計測手段が、基板側ステージを介して感光基板が走査されているときに、基板側ステージの位置基準で複数の計測点における感光基板の高さをサンプリングする場合には、より高精度に走査方向の傾斜角を計測できる。また、多点計測手段が、所定形状の照明領域と投影光学系に関して共役な露光領域内の複数の点及びその共役な露光領域内に対して感光基板が走査される際の手前の領域内の複数の点よりなる複数の計測点において、その感光基板の高さをそれぞれ計測する場合には、分割先読み制御により、露光の開始時の助走スキャン距離を短縮できる利点がある。

【0099】また、多点計測手段が、感光基板の1つのショット領域へ順次マスクのパターンを露光する過程において、順次複数の計測点の位置を変化させる場合には、例えば分割先読みと完全先読みとを併用することにより、レベリング精度及びスループットを共に改善することができる。また、本発明の第2の面位置設定装置によれば、スリットスキャン露光方式の投影露光装置において、感光基板の表面の凹凸、多点計測手段の計測精度、空気揺らぎ等による誤差を補正して、感光基板の露光面のフォーカス位置を投影光学系の像面に対して正確

に合わせることが出来る利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による面位置設定装置の一実施例が適用された投影露光装置を示す構成図である。

【図2】(a)は実施例において投影光学系による露光フィールドを含む領域に投影された2次元的なスリット状の開口パターン像を示す平面図、(b)は多点フォーカス位置検出系のパターン形成板上の開口パターンを示す図、(c)は受光器上の受光素子の配列を示す図である。

【図3】(a)は実施例で分割先読みを行う場合のサンプル点を示す図、(b)は逆方向にスキャンする場合且つ分割先読みを行う場合のサンプル点を示す図である。

【図4】(a)はフォーカス位置を先読みする場合を示す図、(b)は先読みしたフォーカス位置を用いて露光を行う場合を示す図である。

【図5】実施例のオートフォーカス及びオートレベリング機構並びにその制御部を示す構成図である。

【図6】フォーカス位置の計測値の補正方法の説明図である。

【図7】(a)は応答周波数  $\nu$  が  $10\text{Hz}$  の場合の伝達関数を示す図、(b)は図7(a)の伝達関数を逆フーリエ変換して得られた位置関数を示す図である。

【図8】(a)は隣接するショット領域へ露光を行う場合のウエハの軌跡を示す図、(b)はレチクルの走査時のタイミングチャート、(c)はウエハの走査時のタイミングチャートである。

【図9】(a)は露光位置制御法でレベリング及びフォーカシングを行う場合の追従精度を示す図、(b)は先読み制御法でレベリング及びフォーカシングを行う場合の追従精度を示す図である。

【図10】(a)は露光位置制御法を使用した場合の曲がりパラメータ  $F$  に対する誤差パラメータ  $S$  の計算結果を示す図、(b)は先読み制御法を使用した場合の曲がりパラメータ  $F$  に対する誤差パラメータ  $S$  の計算結果を示す図である。

【図11】(a)及び(b)は先読み制御法における平均化効果の説明図、(c)及び(d)は露光位置制御を行う場合のフォーカス面を示す図、(e)及び(f)は先読み制御を行う場合のフォーカス面を示す図である。

【図12】(a)及び(b)は露光位置制御を行う場合のフォーカス位置のサンプル点を示す平面図、(c)及び(d)は完全先読み制御を行う場合のフォーカス位置のサンプル点を示す平面図、(e)及び(f)は分割先読み制御を行う場合のフォーカス位置のサンプル点を示す平面図である。

【図13】(a)～(d)は完全先読み制御法で露光を行う場合の制御法の説明図、(e)～(h)は分割先読み制御法で露光を行う場合の制御法の説明図である。

【図14】(a)は一括露光を行う場合のフォーカス誤差を示す図、(b)はスリットスキャン露光方式で露光を行う場合のフォーカス誤差を示す図である。

【図15】(a)は計測値の最大値と最小値とを用いてオートフォーカス制御を行う場合のフォーカス誤差を示す図、(b)は計測値の平均値を用いてオートフォーカス制御を行う場合のフォーカス誤差を示す図、(c)は時間遅れ誤差を示す図、(d)はサーボゲインの変化を示す図である。

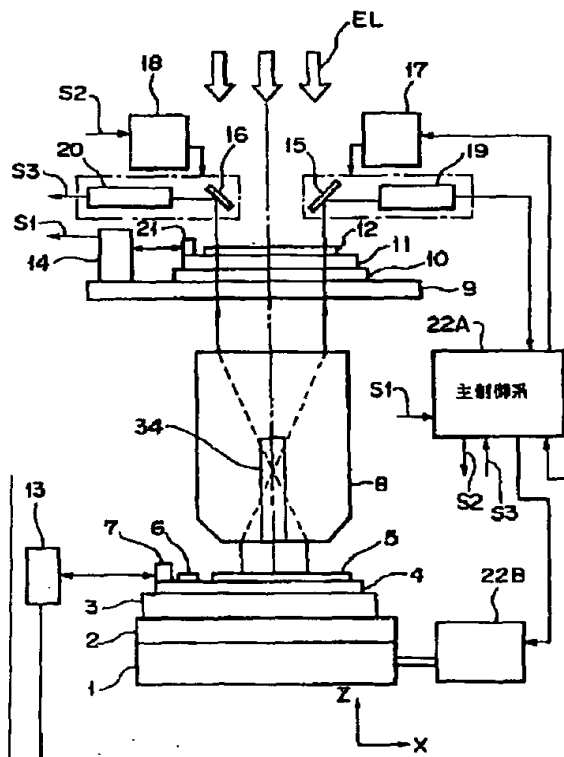
【図16】スリット状の露光フィールドでウェハ上のショット領域への露光を行う状態を示す平面図である。

【図17】(a)はスキャン方向の応答周波数と非スキャン方向の応答周波数とを等しくしてレベリング制御を行った場合の曲がりパラメータFに対する誤差パラメータSの計算結果を示す図、(b)はスキャン方向の応答周波数を非スキャン方向の応答周波数より高くしてレベリング制御を行った場合の曲がりパラメータFに対する誤差パラメータSの計算結果を示す図である。

【図18】(a)はフォーカス位置の平均値を用いてオートフォーカス制御を行う状態を示す図、(b)はフォーカス位置の最大値及び最小値の平均値を用いてオートフォーカス制御を行う状態を示す図である。

【図19】(a)は図17(a)の状態において更に平均化処理でオートフォーカス制御を行った場合の曲がりパラメータFに対する誤差パラメータSの計算結果を示す図である。

【図1】



す図、(b)は図17(b)の状態において更にフォーカス位置の最大値及び最小値の平均値を用いてオートフォーカス制御を行った場合の曲がりパラメータFに対する誤差パラメータSの計算結果を示す図である。

【図20】従来のステッパーにおける多点フォーカス位置検出系を示す構成図である。

【図21】(a)は図20において投影光学系による露光フィールドを含む領域に投影された2次元的なスリット状の開口パターン像を示す平面図、(b)は図20の多点フォーカス位置検出系のパターン形成板上の開口パターンを示す図、(c)は図20の受光器上の受光素子の配列を示す図である。

【符号の説明】

2 ウエハY軸駆動ステージ

4 Zレベリングステージ

5 ウエハ

8 投影光学系

10 レチクルY駆動ステージ

12 レチクル

20 22A 主制御系

24 スリット状の露光フィールド

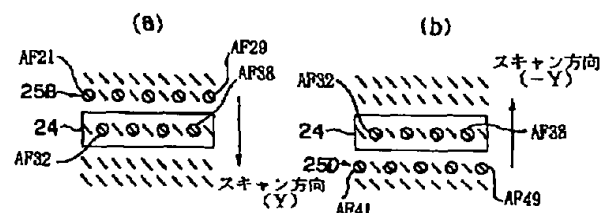
62A パターン形成板

69A 受光器

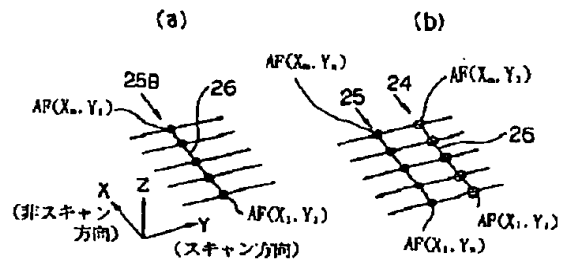
71A 信号処理装置

AF11~AF59 計測点

【図3】

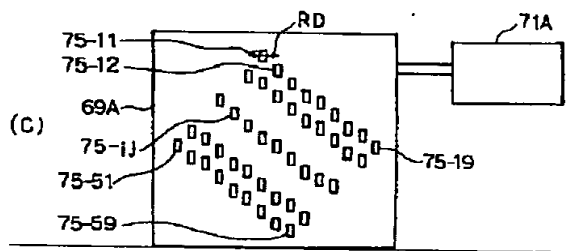
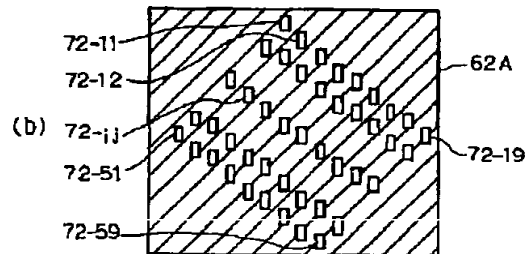
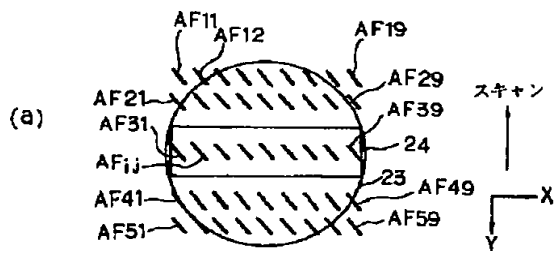


【図4】

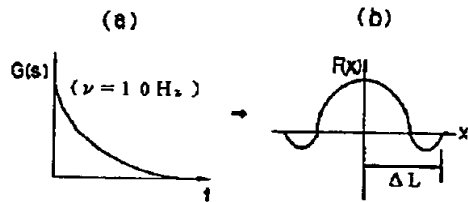




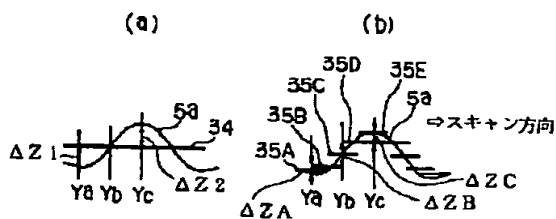
【図 2】



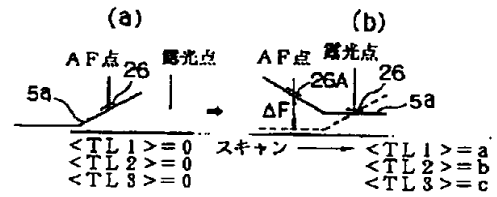
【図 7】



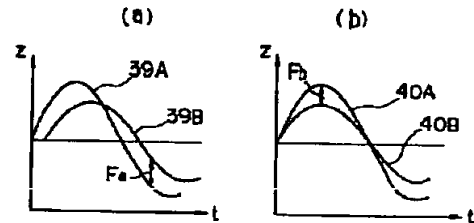
【図 14】



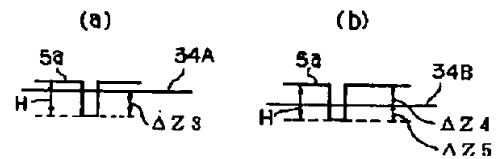
【図 6】



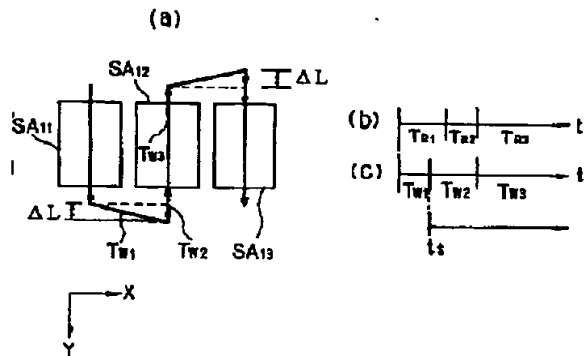
【図 9】



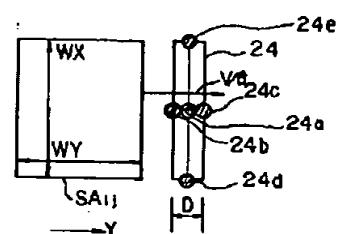
【図 18】



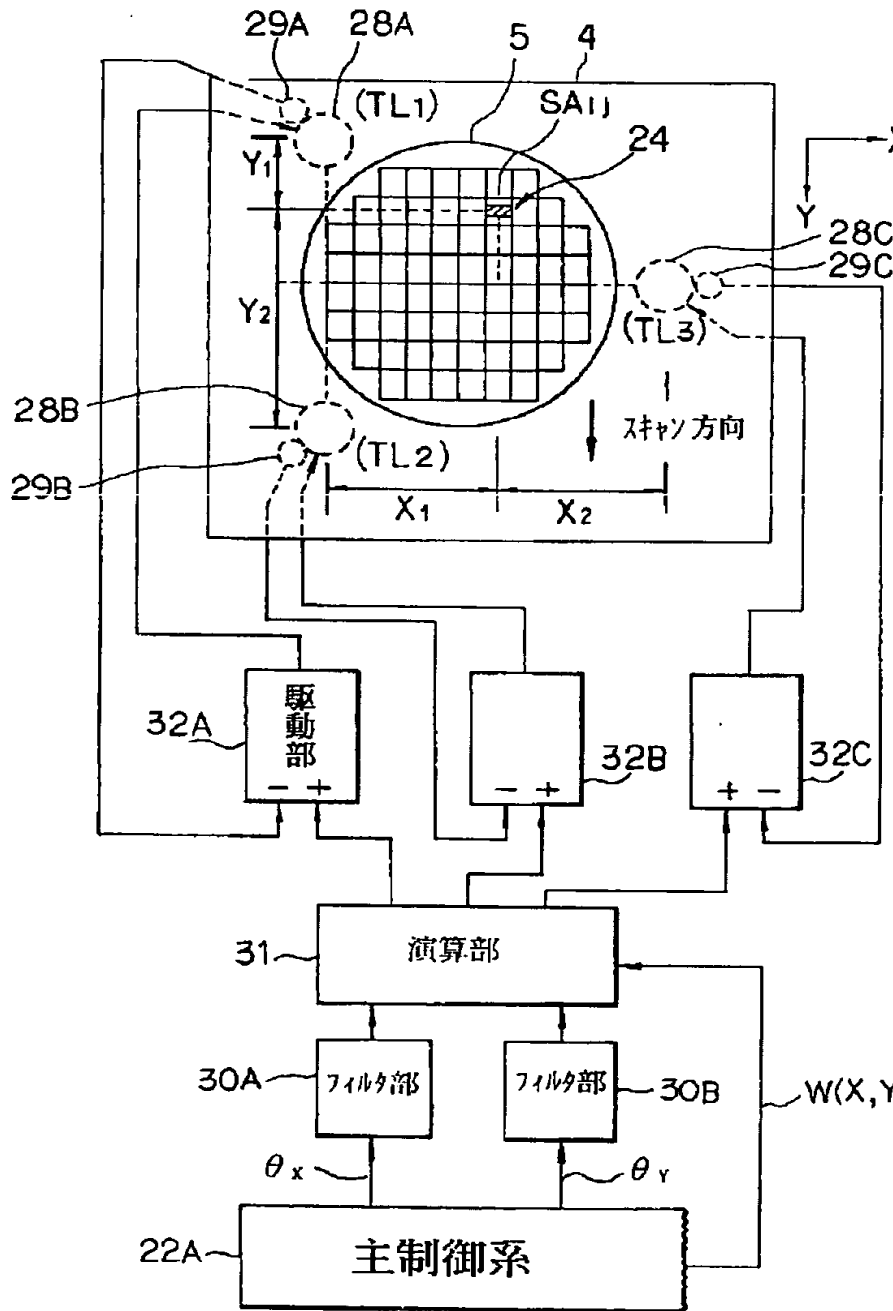
【図 8】



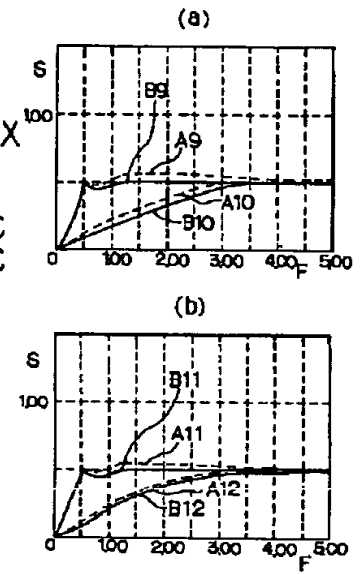
【図 16】



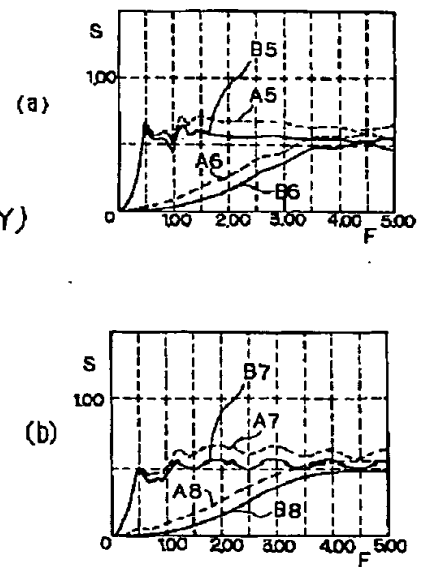
【図 5】



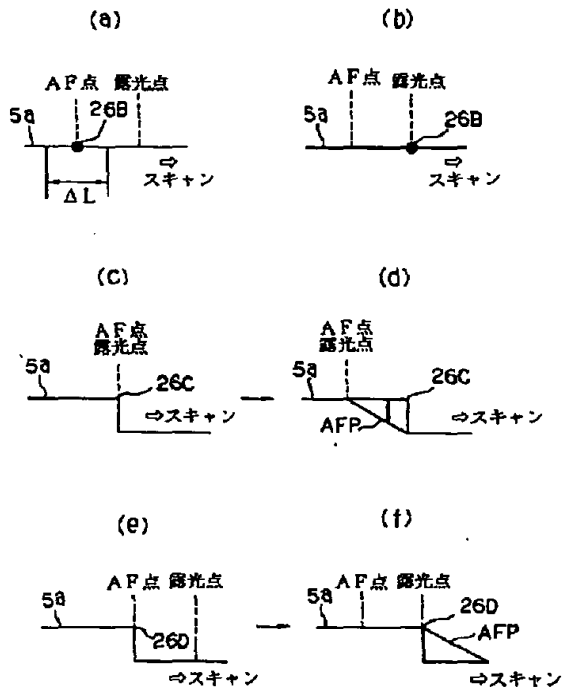
【図 10】



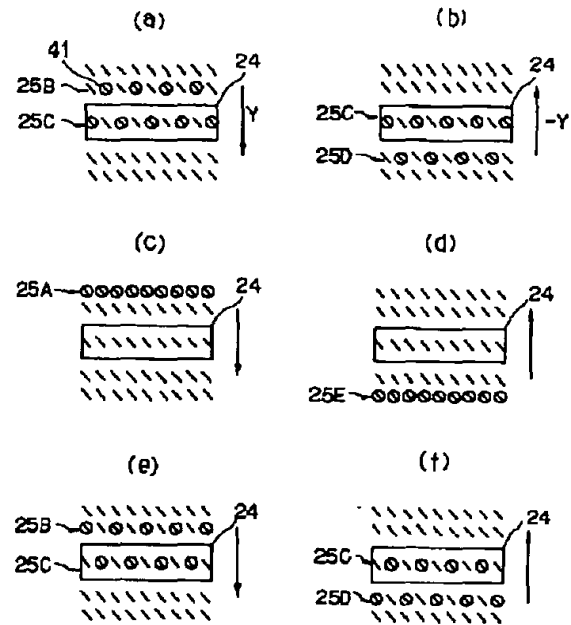
【図 19】



【図11】

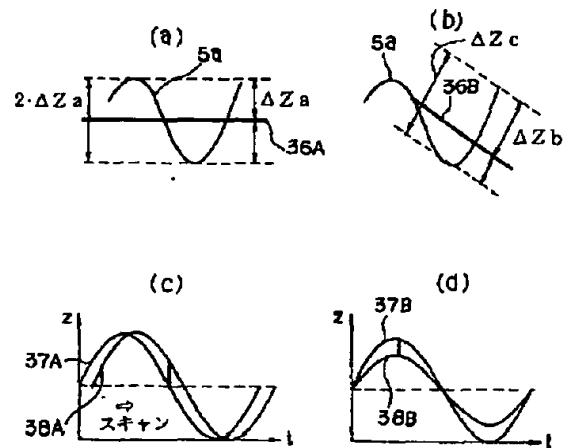
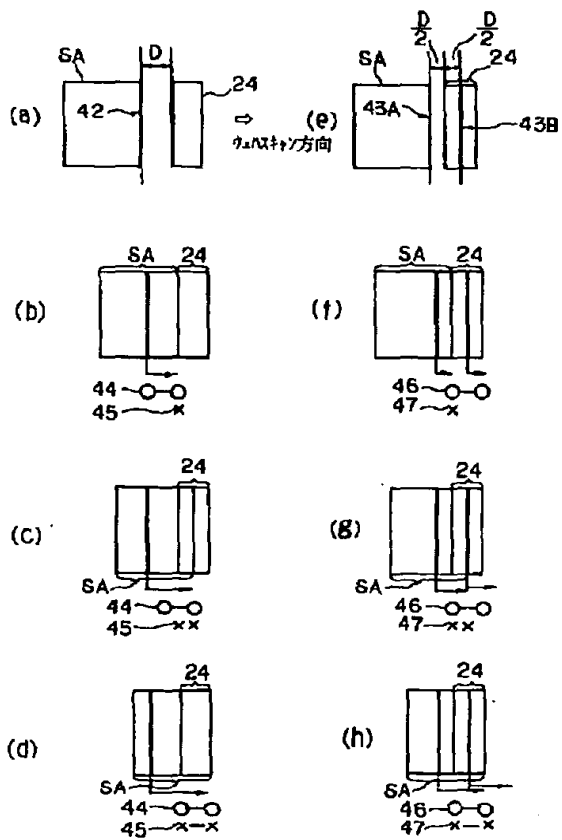


【図12】

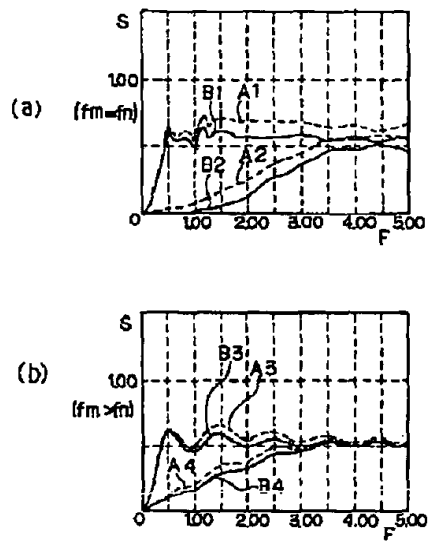


【図15】

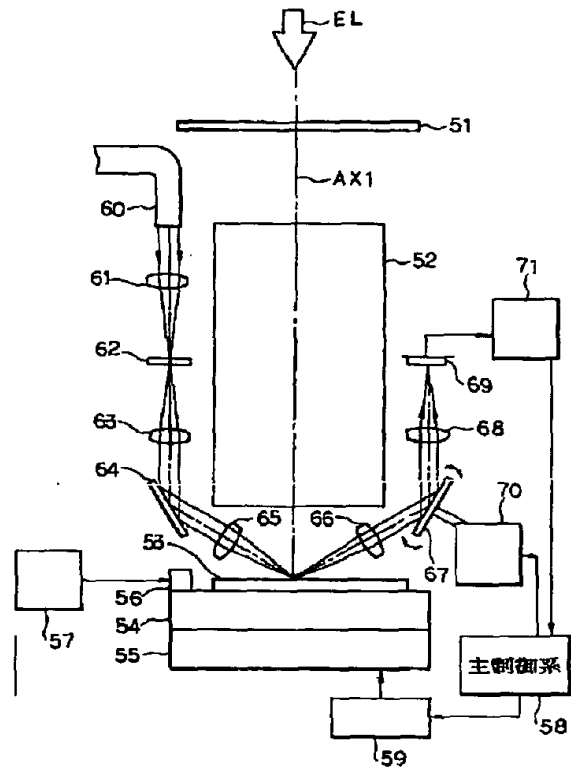
【図13】



【図 17】



【図 20】



【図 21】

